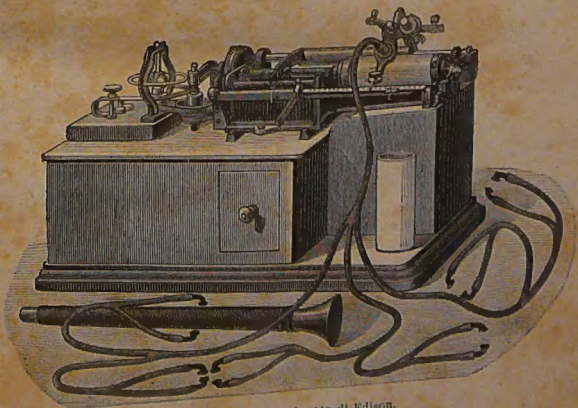
BIBLIOTECA CAMILLO FLAMMARION

FISICA MODERNA

PER

EMILIO DESBEAUX

Traduzione con note dell'ing. AMERICO ZAMBELLI

illustrata da 510 incisioni.

Fonografo perfezionato di Edison.

MILANO
EDOARDO SONZOGNO, EDITORE
14 — Via Pasquirolo — 14

1892.

EMILIO DESBEAUX

FISICA MODERNA

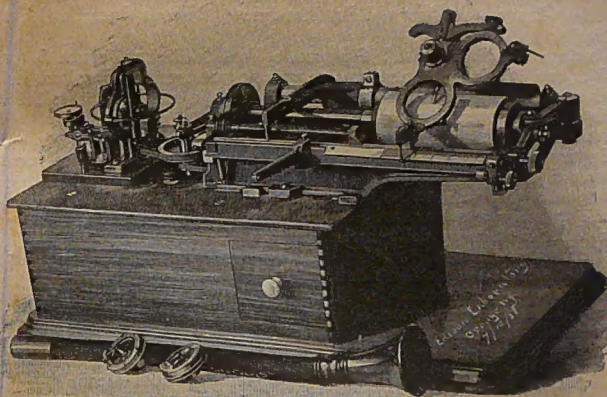



Fig. 1. — IL FONOGRAFO.
Secondo una fotografia eseguita nel laboratorio di Edison (Llewllyn-Park, Orange) il 7 dicembre 1888.

FISICA MODERNA [1]

« La nuova fisica è la proclamazione
del mondo invisibile.
« CAMILLO FLAMMARION. »

LIBRO PRIMO

IL FONOGRAFO — IL TELEFONO — LA TELEFONOGRAFIA IL TELEFOTO

CAPITOLO PRIMO.

IL FONOGRAFO.

Battono a Parigi le due pomeridiane. I deputati entrano nell'aula nel palazzo Borbone. È all'ordine del giorno la discussione dello stanziamento dei fondi per le Colonie. I due rappresentanti della Martinica stanno per prendere la parola.

(1) La voce Fisica deriva dal greco φύσις: Natura. La Fisica studia le forze della Natura ed il mezzo di usufruirle.

.... Trasportiamoci col pensiero attraverso l'Oceano Atlantico, entriamo a Fort-de-France, capoluogo della Martinica; siamo a duemila leghe da Parigi.

L'orologio del Palazzo del Governo, a Fort-de-France, segna 9 ore e 45 minuti (1). In quel momento scorgiamo un gruppo di coloni che si adunano in un ampio salone, vi prendono posto, e, silenziosi, ascoltano.

Ma chi mai stanno ascoltando?

Fra loro non havvi alcuno che parli!

Eppure si ode una voce misteriosa, voce chiara e distinta, che riempie la sala di onde sonore.

A quella voce un'altra ne succede, misteriosa del pari, poi, di subito, anche questa si tace interrotta da una terza, e scoppiano applausi misti a mormorii: un campanello invisibile, scosso da una mano invisibile, ristabilisce il silenzio.

Nella sala ove ci troviamo anima nata non proferì parola.

Eppure, vedi stranezza, fra gli astanti vi furono mani che plaudirono, labbra che mormorarono, come se un' eco intelligente ripetesse i plausi ed i mormorii di origine ignota.

Esiste dunque comunione di idee fra gli astanti e le voci?

E, in tal caso, d'onde vengono quelle voci e che cosa dicono?

In fondo alla sala (fig. 2) sopra una tribuna, si rizza un apparecchio snello, alto quarantacinque centimetri, di forma leggiera e di aspetto meccanico semplicissimo. Tutti gli astanti guardano curiosamente quell'oggetto misterioso; si direbbe quasi che lo ascoltino. È ciò possibile? Sarebbe forse di là che escono le voci misteriose e sorprendenti?

Accostiamcegli; niun dubbio è più possibile: è di là. Tuttavia, benchè di ciò pienamente convinti, nulla sappiamo ancora intorno alla provenienza di quelle voci, e noi vogliamo sapere ove e da chi furono proferite.

La struttura dell'apparecchio elimina qualsiasi sospetto di frode. Quelle voci — quelle voci umane — non son forse quelle di persone nascoste sotto la tribuna o nella sala? No, quelle voci vengono da un altro luogo; ma come possono arrivare sin qua?

Certo deve esistere un modo di comunicare col di fuori. Che vediam noi?

Due fili metallici che metton capo all'apparecchio. Uno di quei fili termina al piede della tribuna in contatto col suolo. È inutile l'occuparsene.

Esaminiamo l'altro filo, attesochè non può essere altri che lui che ha guidate, condotte le voci nella sala.

Dall'apparecchio, il filo si dirige verso una sala contigua, ed ivi si collega ad un sistema complesso nel quale si nota in particolar modo una macchinetta formata da una cassetta che serve di piedestallo ad un congegno assai delicato. La parte principale di quel congegno è un cilindro di rame coperto da un manicotto di cera biancastra; sul cilindro, che è animato da un movimento di rotazione, si sposta un organo di rame argentato rassomigliante ad un pajo di grandi occhiali.

Il filo parte poscia da un apparecchio affatto simile a quello che vedemmo sulla tribuna. Ove va adesso? Penetra nella muraglia e la attraversa.

(1) Siccome le differenze di ora sono regolate dalle differenze di longitudine e Fort-de-France si trova a 63°.24' di longitudine occidentale, quando a Parigi sono le due, nel capoluogo della Martinica non sono che le 9 e 45 antimeridiane.

Seguiamolo, e facciam noi, ma in senso inverso, il cammino che esso percorre dall'altra parte di quella muraglia: da prima varca una parte della città e tocca l'ufficio telegrafico di Fort-de-France, poi, poco dopo, il che desta in noi la massima meraviglia, raggiunge a Saint-Pierre il cordone sottomarino.

Le voci giunte sino a noi avrebbero esse per caso attraversato le profondità dell'Oceano?

Il cordone si immerge nel mare delle Antille; passa (presso l'isola di Cuba) il golfo del Messico e risale alla punta della Florida ove diventa linea telegrafica terrestre, seguendo la costa orientale degli Stati Uniti sino a Cap-Cod; ivi la linea americana si attacca al cordone francese che attraversa l'Atlantico e prende terra a Brest. Nulla ci vieta di supporre la continuità, l'identità del filo partito dalla Martinica, laonde possiam dire di averlo seguito nel suo tragitto sino in Francia.

Ivi giunto, qual è il suo destino? Da sottomarino che era diventa aereo, da Brest si dirige verso Parigi ove penetra negli uffici della direzione generale delle Poste e Telegrafi. La sua corsa è finita? Non ancora. Riparte dalla via di Grenelle, si sprofonda sotto terra e ricompare ben presto... ove? Nel palazzo Borbone, nella Camera dei deputati!

Il nostro scopo è raggiunto, poichè noi troviamo alla fine l'estremità del filo metallico visibilmente destinato a raccogliere i rumori della sala e situato presso la tribuna nazionale. È là che il filo incomincia: è là che ha la sua origine; è da quel punto iniziale che si allontana per compire il suo immenso percorso di circa diecimila chilometri!

Trovato così il punto di partenza del filo, dobbiamo ora, seguendo il semplicissimo ragionamento fatto al principio della nostra ricerca, studiar di conoscere il punto di partenza delle voci.

Ora, il filo parte dalla Camera dei deputati. Le voci udite laggiù, all'altra sponda dell'Oceano, in mezzo alle Antille, sarebbero mai quelle dei deputati francesi?... Precisamente; il fatto è certo, poichè la discussione del *budget* delle colonie continua e, nelle voci dei deputati che trattano la questione, noi riconosciamo le voci che ci colpirono l'orecchio a centinaja e centinaja di leghe lungi di qua. Eccoci quindi in grado di renderci ragione degli applausi e dei mormorii dei coloni di Fort-de-France; noi comprendiamo ora quella comunione di idee, la cui ipotesi ci riempiva di meraviglia, apprendendo che le voci udite laggiù son quelle dei rappresentanti della Martinica che difendono gli interessi della grande colonia.

Codesta comunicazione auditiva « telefonografica » inventata oggi da noi e dalla quale a bella posta abbiamo eliminato le complicazioni di meccanismo, diverrà un fatto compiuto in un avvenire non molto lontano!

Ben presto, i Francesi, e com'essi tutti gli uomini dello incivilimento moderno, in qualunque paese si trovino, potranno udire, riprodurre e conservare le parole pronunciate nella madre patria.

A quei viaggiatori, a quei colonizzatori lontani, sarà dato conoscere, nel momento stesso in cui si produrranno, le discussioni politiche del loro paese, udire i solenni discorsi accademici, letterarii, scientifici e giuridici, ascoltare, a migliaja di leghe di distanza, l'opera che si canta nel massimo teatro o il dramma che vi si rappresenta.

E se codesta possibilità sembra già per sè stessa un prodigio, di quale vocabolo si dovrà servirsi il giorno nel quale un' invenzione straordinaria — in germe nel Telefoto (1) — permetterà di congiungere all'audizione anche la visione?

Si sentirà e si vedrà!...

La distanza non esisterà più che di nome, o, almeno, per la mancanza di contatto (fig. 3).

E quelle parole di Pascal: « L'imaginazione si stancherà più presto dal concepire che la Natura di fornire » non avranno mai ricevuto una comprovazione più splendida della loro profonda verità.

Ma lasciamo da parte l'ipotesi della visione a grande distanza per ritornare al fatto reale della audizione, e dichiariamo che ci è scientificamente permesso di supporre l'esistenza della comunicazione tra la Martinica e la Francia, poichè nel febbrajo 1889, buon numero di persone convenute all'Istituto Franklin di Filadelfia intesero, senza incomodarsi, senza abbandonare il loro posto e senza perdere una sillaba od una nota, parole proferite e canzoni cantate a Nuova York, vale a dire alla distanza di 165 chilometri.

Se un simile risultato fu ottenuto jeri, che cosa non si otterrà domani!

Studiamoci ora di conoscere con quali mezzi si poterono compiere tali prodigi.

Come mai la voce umana potrà, ed anzi potè già, essere diretta, condotta, portata a distanze sì lontane dal suo punto di emissione?

Come faranno i Francesi della Martinica per giungere a udire i loro deputati mentre parlano a Parigi?

Come mai gli abitanti di Filadelfia poterono ascoltare la voce degli abitanti di Nuova York?

Come mai, in fine, quelle voci, quelle parole, potranno essere conservate, rese durevoli come gli scritti, e potranno essere intese nuovamente quante volte ciò sia necessario?

La soluzione di codesti ardui e complicati problemi non risiede nella sola Telefonia, ma nella Telefonografia.

È indispensabile distinguere questi due metodi.

La *Telefonia* (2) trasmette la voce, ma non la conserva.

La *Telefonografia* (3) non solo trasmette la voce, ma eziandio la conserva, e permette che venga riprodotta a piacimento quante volte si vuole; indefinitamente.

La differenza è grande e tutta a vantaggio di quest'arte nuova. La voce, nella Telefonografia, non sembra più arrivare da un punto lon-

---

(1) Nel 1889, un inventore francese, il signor Courtonne, depositò all'Accademia delle Scienze un piego suggellato contenente la descrizione di un telefoto, apparecchio che permette di vedere a distanza come il Telefono permette di udire.

Nello stesso anno, Edison fece annunziare consimile scoperta, che tiene ancora secreta; il principio del Telefoto sarebbe trovato, Edison lo asseverò al redattore capo del giornale sciențifico inglese *The Iron*.

Noi esamineremo più innanzi tutte le indagini di cui il Telefoto è in questo momento l'oggetto, o diremo esattamente a qual punto si trova il seducente problema della *Visione a distanza*.

(2) La parola è formata di due vocaboli greci τῆλε (telè) lontano e φωνη (phonè) voce, istrumento che trasmette la voce da lontano.

(3) La parola è formata con tre vocaboli greci τῆλε, φωνη, e γραφω (grapho) scrivo; istrumento che scrive la voce in lontananza.

Fig. 2. — Abitanti della Martinica che, mercè la Telefonografia, ascoltano i discorsi pronunciati dai loro rappresentanti alla Camera dei deputati a Parigi.

tano; non è più la voce che si sente per mezzo di un telefono; la voce è là, proprio là dove siete, esce dall'apparecchio che vi sta dinanzi. Egli è come se apriste una cassetta ove fossero state chiuse le parole.

In fatti non sono più due persone che si parlano, ma due macchine, una delle quali riproduce a grande distanza tutti i movimenti dell'altra.

Quelle due macchine meravigliose sono *Fonografi*.

E l'apparecchio che le unisce è un Telefono.

Ci accingiamo a descriverle.

Fra le prodigiose ricchezze scientifiche, industriali ed artistiche accumulate nella mirabile Esposizione Universale del 1889, l'oggetto che esercitava sulla folla dei visitatori un'attrazione particolare era un piccolo apparecchio venuto dall'America.

Quell'apparecchio che destava tanta curiosità si trovava nel centro della galleria delle macchine, in uno spazio riservato agli espositori elettricisti, ed ai visitatori, che avevano lungamente e pazientemente atteso il loro turno, era finalmente concesso di avvicinarsegli.

Allora il visitatore si vedeva dinanzi un tavolo sul quale riposava una cassettina di acajù, munita e sormontata da un congegno la cui delicatezza si apprezzava al primo sguardo. In un punto di quel congegno si adattava un lungo tubo di cauciù che si divideva in parecchi altri tubi (quattro, cinque o sei). Quei tubi terminavano tutti con due rami corti nei quali erano inseriti due tubetti di osso di balena. Un impiegato presentava alle quattro, cinque o sei persone che passavano contemporaneamente davanti all'apparecchio uno dei tubi di cauciù. Quelle persone si introducevano nell'orecchio le estremità arrotondate dei tubetti di osso di balena ed immediatamente sentivano una voce che loro parlava, e la sentivano sì chiara, sì vibrante, sembrava sì vicina, che dovevano fare uno sforzo per non ritirare i tubi dagli orecchi ed accertarsi poi che non erano tratti in inganno da qualche effetto di ventriloquio. Da altri apparecchi consimili non uscivano parole, ma la musica di un' orchestra, il suono di un pianoforte o di un violino, un'aria zufolata. E lo stupore raddoppiavasi quando si apprendeva che quelle parole, quelle melodie, quelle arie, erano state proferite, suonate, zufolate, già da parecchie settimane o da parecchi mesi, in America, agli Stati Uniti.

Quell' apparecchio straordinario era il fonografo di Tomaso Alva Edison (fig. 4).

L'invenzione del Fonografo (1) segnerà nella Fisica una data di importanza capitale.

Ciò che sembrava impossibile a cogliersi fu preso e reso fisso: dopo la luce, il suono.

Dopo il francese Daguerre che, inventando la fotografia, rese fisse in qualche modo le vibrazioni luminose, ecco l'americano Edison che fissa e riproduce le vibrazioni sonore.

Ormai noi possediamo la facoltà di arrestare al volo le vibrazioni

(1) La parola è formata di due vocaboli greci φωνη (phonè) voce e γραφω (grapho) scrivo; apparecchio che scrive la voce.

sonore, di renderle indelebili e di riprodurle quando vogliamo e quante volte ci piace di farlo.

Il secolo XV aveva trovato la stampa dello scritto; il secolo XIX trovò quella della parola.

Mercè codesta più che mirabile scoperta sarà dato di poter tradurre in fatto la nostra ipotesi di comunicazione auditiva « telefonografica » fra la Francia e le sue più lontane colonie, e sarà ancora mercè sua che i popoli si intenderanno, almeno fisicamente da prima e — forse — in seguito moralmente!

La vita di Edison, il cui nome vedremo figurare nella massima parte delle grandi scoperte della fisica moderna, è un singolare esempio di energia, di lavoro e di successo ottenuto con perseveranza straordinaria.

Tomaso Alva Edison nacque da una famiglia di origine olandese agli Stati Uniti, nella piccola città di Milano (contea d'Eriè, stato dell'Ohio) l'11 febbrajo 1847. Il suo volto è rimasto giovane benchè contornato da capelli brizzolati; la fronte, non molto alta, è solcata dalle rughe dell'attenzione e della ricerca; fra le sopracciglia, la piega perpendicolare, che Lavater considerava come un segno di vasta intelligenza, è assai marcata; il naso dritto finisce con due narici sporgenti; il viso, interamente raso, è illuminato da due occhi celesti, profondi. L'aspetto generale è delicato, timido; e tramanda un'impressione di grande dolcezza quasi muliebre.

Edison ebbe per unico maestro la madre, originaria del Massachussets, la quale, a somiglianza di molte donne americane, prima di maritarsi era stata direttrice di una scuola primaria. « Questa istruzione data presso il focolare domestico, disse lo stesso Edison, valeva cento volte meglio della più completa che avrei potuto ricevere alla scuola. »

Suo padre, sarto tagliatore, non era ricco. Perciò Edison a dodici anni entrò al servizio delle strade ferrate del Gran Tronco, in qualità di *train-boy* « cameriere o garzone del treno. » Durante il percorso fra Porto Huron e Détroit, vendeva ai viaggiatori giornali, sigari e frutta (fig. 6).

Benchè semplice *train-boy*, aveva preso l'abbonamento alla biblioteca circolante di Détroit e ne lesse tutti i volumi, niuno eccettuato, « quantunque formassero, narra egli stesso, una linea di quindici piedi ed alcuni pollici di lunghezza. » Fra quei libri figuravano i *Principii* di Newton.

Edison ideò ben presto di procacciarsi caratteri di stamperia e di compilare e stampare durante il viaggio del suo convoglio un bollettino contenente il sommario de' suoi giornali. Quel bollettino, alimentato alle stazioni principali da dispacci telegrafici, divenne una vera gazzetta che tutti i viaggiatori comperavano. Il giovine giornalista aveva piantato il suo piccolo torchio a mano in uno scompartimento di un vecchio e sdruscito carrozzone pei fumatori. Quel vecchio carrozzone-stamperia divenne anche carrozzone laboratorio, e in quel laboratorio Edison si dedicò con passione ad esperienze di fisica e di chimica.

Un giorno, una scossa fece cadere una bottiglia che conteneva fosforo. Il carrozzone prese fuoco. Il convoglio dovette arrestarsi, ed il conduttore furioso gettò sulla strada il materiale della tipografia e del labo-

ratorio insieme allo stampatore-fisico, cui fu giuocoforza rassegnarsi a vedere il convoglio partire senza di lui (fig. 13 a pag. 17).

Questo incidente mise termine alla sua carriera di *train-boy*. Egli andò poi a Porto Huron a fondare un altro giornale intitolato *Paul Pry (Paolo l'Indiscreto)*, ma contemporaneamente continuava a dedicarsi a' suoi esperimenti di fisica, ed avendo potuto, mercè la cortesia di un capostazione, studiare la telegrafia, divenne in pochi mesi un abile telegrafista e portò all'apparecchio trasmissore modificazioni che attirarono l'attenzione degli elettricisti. In quell'epoca aveva quindici anni appena. Da quel momento in poi fu addetto al servizio telegrafico di

Fig. 3. — Si sentirà e si vedrà — a migliaja di leghe di distanza — l'opera che si canta al massimo teatro o il dramma che vi si recita.

Porto Huron ed in seguito a quello di Strafford, d'Adrian, di Indianopolis e di Boston.

Nel 1870 si portò a Nuova York. Aveva già fatto brevettare un *ripetitore*, un *impressore* automatico ed un sistema di telegrafia *duplex*, e si trovava senza mezzi di sussistenza, mancava di panni e soffriva la fame. La sua situazione era infinitamente più precaria di quando vendeva giornali sulla strada ferrata del *Grand-Trunk*.

Per parecchie settimane cercò indarno un impiego presso i costruttori di istrumenti di fisica e nelle agenzie telegrafiche di Nuova York. Usciva appunto da uno di quegli stabilimenti che avevano respinte le sue offerte di servigio, allorchè, giunto sul limitare della porta, venne

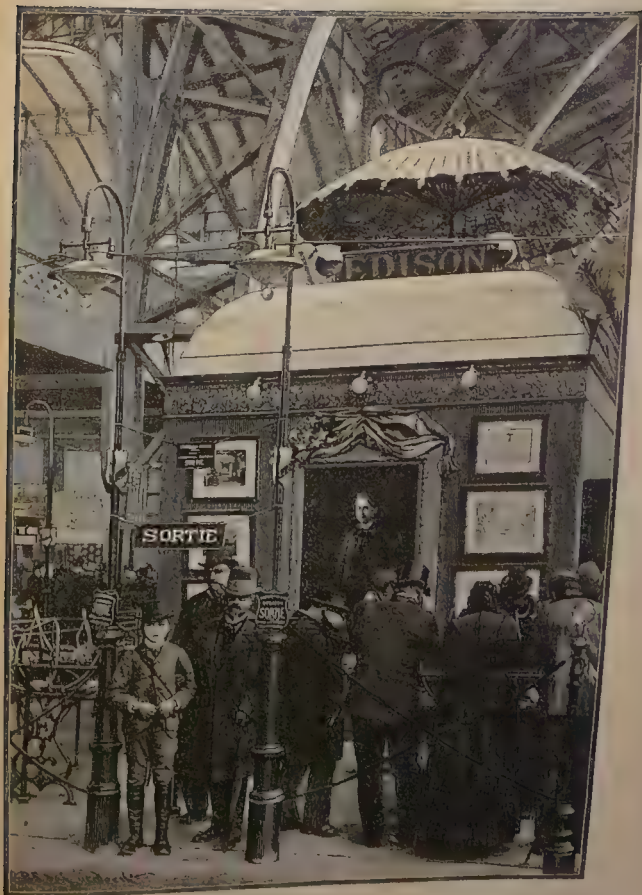



Fig. 4. — Le Audizioni del Fonografo Edison nella galleria delle macchine all'Esposizione Universale del 1889.

richiamato indietro per mostrargli un apparecchio privilegiato che registrava i corsi del mercato dell'oro e che dopo aver reso molti servigi si era guastato. Ora, nè l'inventore dell'apparecchio Giorgio Laws, nè i costruttori, nè gli elettricisti erano stati capaci di indicare la causa del guasto. Il direttore dell'Agenzia, domandò ad Edison, con un risolino beffardo, se sarebbe stato da tanto da scoprire quella causa. Edison esaminò l'istrumento alcuni minuti, poi, detto e fatto, lo rimise in buono stato.

Tale vittoria gli fe' ottenere immediatamente un posto nell'Agenzia. Le fortune non vengono mai sole, e ben presto la società Western-Union, che aveva intrapreso a fare esperimenti col sistema di telegrafia *duplex* di Edison, acquistava da lui il diritto di applicare il sistema, contro una rendita annua di 6000 dollari (30 000 franchi).

Da quell'epoca in poi la fortuna e la celebrità di Edison non fecero che ingrandire. Per parecchi anni rimase addetto in qualità di ingegnere elettricista a due grandi società, la Western-Union e la Gold and Stock Company, che gli pagavano in comune stipendii fissi cospicui riserbandosi il diritto di acquistare a prezzi anticipatamente convenuti tutti i suoi perfezionamenti telegrafici.

Sulla linea da Nuova York a Filadelfia, a trenta chilometri circa da Nuova York, presso il piccolo villaggio d'Orange, si scorge attraverso agli alberi una massa di fabbricati sormontati da alti camini. È il grande laboratorio modello che Edison si fece costruire nel 1876.

In quel laboratorio di Llewellyn-Park, Edison ha riunito il materiale più perfezionato, gli istrumenti di fisica e di chimica usciti dalle migliori fabbriche d'America e di Europa, gli apparecchi più rari, le macchine più poderose. Tutto vi è disposto in guisa che, quando una nuova idea è concepita, si possano trovare tutti gli elementi necessarii per tradurla in fatto.

Vi è colà una collezione di utensili di ogni specie che permettono di lavorare istantaneamente tutte le sostanze naturali ed artificiali conosciute, e tutte quelle sostanze che, secondo l'assioma favorito di Edison « possiedono una intelligenza proporzionata ai loro bisogni » sono radunate a Llewellyn-Park.

Si comprende agevolmente con quanta facilità, rapidità e sicurezza procedano le indagini scientifiche in quel laboratorio ove si può a piacimento fabbricare un orologio od una locomotiva.

Le spese di impianto ammontarono a dieci milioni, gli esperimenti che vi si fanno dal primo all'ultimo giorno dell'anno costano in media 30000 franchi al mese, e si può dire che quel laboratorio è il più completo ed il più dispendioso che vi sia al mondo (1).

E là che Edison ha compiuto i suoi mirabili lavori. Egli chiamò presso di sè per secondarlo abili specialisti: fisici, costruttori, chimici, matematici. Codesti numerosi collaboratori formano un vero sindacato scientifico e finanziario che partecipa agli utili dello stabilimento. I suoi operai, e ve n'ha parecchie centinaja, ricevono una parte

(1) All'Esposizione Universale del 1889 si vedeva, nell'esposizione particolare di Edison, un quadro dipinto ad olio in modo piuttosto primitivo, che rappresentava quel laboratorio, ed era accompagnato dalla scritta seguente che riproduciamo testualmente: Le nouveau laboratoire di Llewellyn Park (New Jersey, réservé pour les « experiments » scientifiques; le plus « complète » et cher laboratoire du « mond entier » (La pronunzia americana è: Liullinn-Park).

nel prodotto netto di qualsiasi invenzione speciale alla quale hanno collaborato.

Le doti speciali di Edison sono una memoria prodigiosa ed una incredibile forza di resistenza al lavoro. Lo si vide seguire un'idea per cinque o sei giorni di seguito senza dormire, quasi senza mangiare, facendo eseguire uno dopo l'altro dieci, dodici modelli successivi per rigettarli subito dopo e modificarli, perfezionarli senza tregua sino a che ne fosse soddisfatto.

La massima parte degli inventori va dal noto all'ignoto. Date le proprietà di una sostanza, ne cercano le applicazioni e si studiano di tradurle in fatto. « Edison, dice Filippo Daryl, procede quasi sempre inversamente. Dato uno scopo da raggiungere, un sogno da realizzare, egli cerca la sostanza dotata delle proprietà richieste, fruga e rifruga nel cosmos e riconduce alla superficie la perla domandata. Il cosmos è qui una figura; in fatto trattasi di enormi registri formanti una collezione di trenta a quaranta volumi in foglio, nei quali sono registrati da lui o dai suoi ajutanti tutti i fenomeni, tutte le osservazioni che loro sembrano degne di tanto onore. Per esempio, riconoscono che l'avorio, dopo aver soggiornato sei settimane in un certo olio diventa trasparente o malleabile; che un globulo di mercurio in sospensione nell'acqua prende questa o quell'altra forma sotto l'azione della corrente elettrica. Tutto ciò è registrato. Non se ne vede l'utilità immediata, ma essa potrà manifestarsi un giorno o l'altro, e così a poco a poco si forma un prodigioso repertorio di fatti. »

Una delle sorelle di Edison racconta che all'età di sei anni lo si cercava da per tutto senza poterlo trovare. Si finì col trovarlo nel pollajo intento a covare le uova. Aveva notato come adoperavano le galline e le imitava, scoprendo così l'incubazione artificiale. Questa era la sua prima scoperta che doveva essere seguita da molte altre: al giorno d'oggi Edison ha nelle mani oltre a trecento brevetti di invenzione.

Con tutto ciò si potrebbe dire che Tomaso Alva Edison è piuttosto un assimilatore di genio che un creatore, più un *metti in opera* di rara abilità che un inventore, poichè guardando un po' addentro nelle sue scoperte si finisce molto probabilmente col riconoscere che non ve ne ha una che non sia stata presentita ed anche prevenuta. Ma senza di lui, quelle scoperte sarebbero senza dubbio rimaste per lungo tempo allo stato embrionale o teorico, silenziosamente classificate negli archivii delle Accademie e, protette, in un riposo indefinito, dallo sprezzo o semplicemente dall'indifferenza.

Dotato dell'intelletto pratico della sua nazione, Edison seppe comprendere ed apprezzare le idee dei suoi predecessori, e la sua audace intelligenza gli permise di tradurle in fatto. A questo titolo egli giustifica la sua rinomanza.

Si è spesso notato che il caso sostiene una parte importante nelle grandi scoperte e che la massima parte degli uomini che illustrarono il loro nome con invenzioni notevoli trovarono ciò che non cercavano.

Alla parte del caso è giusto opporre le qualità individuali; se correndo dietro ad un'idea quegli uomini ne colsero un'altra, ciò avvenne mercè la loro mente sempre vigile e pronta, la loro imaginazione ardente, la loro memoria ricca di documenti, mercè infine il loro grande sapere, che permise ad essi di trarre da un nonnulla conseguenze enormi. Un

milione d'altri uomini sarebbero passati vicino a quel nonnulla senza nemmanco addarsene.

Il 31 luglio 1877, Edison prendeva un brevetto di invenzione per un registratore destinato a trasmettere automaticamente sopra una seconda linea i dispacci trasmessi coll'apparecchio di Morse, provenienti da una linea telegrafica quale che sia, e dei quali riceveva l'impronta. L'apparecchio telegrafico Morse, in luogo d'imprimere direttamente le lettere dell'alfabeto all'ufficio d'arrivo, le surroga con linee formate da tratti di lunghezza diversa.

Il registratore cilindrico di Edison porta una scanalatura poco profonda a passo di vite; uno stile rigido è incombenzato di seguire quella scanalatura; ma fra lo stile ed il cilindro si trova interposto un foglio di carta rotolato. Si capisce come il foglio di carta essendo mollemente sostenuto in faccia alla scanalatura riceva in incavo le lineette ed i punti che costituiscono l'alfabeto Morse. Voglionsi riprodurre i segnali? Si piglia il foglio di carta e lo si mette sotto un altro stile comuni-

Leone Scott, francese (1857). Carlo Cros, francese (1877). Edison, americano (1878).

GLI INVENTORI DEL FONOGRAFO.

cante con un piccolo apparecchio chiamato interruttore elettrico. Sintanto che lo stile non incontra impronte, la corrente elettrica passa; ma quando si imbatte in un vuoto, vi si sprofonda e la corrente non passa più. Le chiusure e le aperture successive della corrente, che hanno la durata rispettiva dei segnali originali, si trasmettono all'estremo della linea telegrafica, ed il dispaccio può essere così riprodotto in molti esemplari con mezzi puramente meccanici.

Un giorno, per giuoco, ed un po' anche per mettere alla prova la valentia dei telegrafisti, e vedere con quale rapidità essi potrebbero ricevere e leggere un dispaccio, Edison fece camminare l'apparecchio con grande velocità. Immediatamente quella velocità divenne troppo notevole perchè fosse possibile di distinguere i segnali Morse, ed Edison osservò che l'apparecchio mandava un suono musicale che variava coi segnali scritti.

L'infaticabile cercatore pensò sull'istante di sostituire ai segnali un tracciato rappresentante la parola articolata.

In un'ora sostituì all'apparecchio telegrafico di registrazione un diaframma, vale a dire un tramezzo di carta oliata, paraffinata, ed al fo

glio di carta un foglio di stagnola. Poi si mise a parlare sopra il diaframma, facendo girare il cilindro registratore. Lo stile, assicurato sotto il diaframma, e per conseguenza solidale coi movimenti di esso, si affondò nel foglio di stagnola e disegnò le ondulazioni. La rappresentazione grafica era ottenuta. Si trattava di riprodurla. Edison tolse via il primo diaframma e ne mise un secondo munito di un ago fine e flessibile. Il cilindro fu nuovamente girato e l'ago trovando sul foglio di stagnola gli incavi ed i rilievi disegnati dallo stile, trasmise al diaframma vibrazioni, suoni.

La macchina balbettava, ma il fonografo era nato (1).

Fig. 6. — Tomaso Alva Edison, all'età di dodici anni, vendeva giornali, sigari e frutta ai viaggiatori della linea del Grand-Trunk.

Per comprendere il fonografo fa mestieri possedere qualche nozione di acustica (2); convien sapere che cosa è il suono.

(1) Questo primo fonografo è attualmente al museo di South Kensington. I giornali americani hanno pure raccontato, che Edison, nel corso di esperienze telefoniche, ebbesi un dito punto dallo stilo del diaframma, agitato dalla voce, ed in modo abbastanza forte perchè ne uscisse sangue. Da questo accidente senza importanza Edison concluse che le vibrazioni del diaframma erano bastantemente forti per produrre sopra una superficie flessibile impronte atte a rappresentare le inflessioni delle onde provocate dalla voce, e bastantemente caratteristiche per permettere la riproduzione meccanica delle vibrazioni e quindi della parola.

(2) L'acustica, dalla voce greca ἀκούειν (acuein) sentire, è la scienza che tratta della formazione, delle proprietà e della propagazione del suono.

La natura del suono è già molto tempo che la si conosce; è uno stato di vibrazione della materia.

Una vibrazione è un movimento rapido di va e vieni. La vibrazione di un corpo è composta delle vibrazioni di tutte le molecole che costituiscono quel corpo. Se un urto, un colpo, uno strofinamento vengono a turbare la posizione di equilibrio di quelle molecole, esse cercano subito di ripigliare quella posizione eseguendo una serie di movimenti alternativi innanzi e indietro: esse vibrano.

Una vibrazione è completa o doppia se è composta dell'andata e del ritorno; si chiama vibrazione semplice una andata od un ritorno.

Le vibrazioni dei corpi spesso si riconoscono agevolmente. Un semplice filo di canapa (fig. 7) teso pei due capi e pizzicato nel mezzo, una lamina di rame incastrata da un lato e battuta sull'altro o strofinata con un archetto, assumono un movimento di va e vieni visibile ad occhio nudo. Un colpo secco battuto sopra un bicchiere di cristallo turba l'equilibrio delle molecole di quel cristallo e per conseguenza le mette in vibrazione: avvicinando l'unghia al bicchiere (fig. 8) si sente una successione rapida di piccoli colpi. Dopo avere veduto le vibrazioni col sussidio del filo di refe e della lamina di rame si può dire che col bicchiere si toccano.

Fig. 7. — Vibrazioni di un filo.

Fig. 8.
Vibrazioni di un bicchiere di cristallo.

Come mai quelle vibrazioni visibili e tangibili diventano percettibili al nostro orecchio?

Mercè l'aria che ci avvolge da tutte le parti.

Son più di 1800 anni che il filosofo Seneca scriveva nelle sue *Questioni naturali:* Che cosa è il suono della voce se non lo scuotimento dell'aria urtata dalla lingua? Qual canto potrebbe farsi udire senza l'elasticità del fluido aereo? Il clangore dei corni e delle trombe, il suono degli organi idraulici non potrebbero essi pure trovare una spiegazione in quella stessa forza elastica dell'aria?

Perchè questa verità fosse provata ci vollero sedici secoli! Fu mestieri che Ottone di Guerike inventasse la macchina pneumatica.

La macchina pneumatica è un apparecchio che permette di fare il vuoto, vale a dire di estrarre l'aria contenuta in uno spazio chiuso.

Se si mette sotto una campana di vetro (fig. 9) un campanello che venga battuto da un martello mosso da un congegno di orologeria, e se, mediante la macchina pneumatica, si leva l'aria contenuta nella campana, si osserva che il suono del campanello si indebolisce a misura che l'aria si rarefà. Quando il vuoto è fatto si vede con meraviglia il martello che continua a battere senza che se ne odano più i colpi (1). Questo esperimento dimostra che, senz'aria, non ci ha nè suono nè rumore qualsiasi.

(1) La cassa del campanello riposa sopra un feltro denso che si adopera nell'intento di spegnere vibrazioni che lo colpiscono; in questa guisa non si ha più da temere la trasmissione del suono per la via della piattaforma della macchina pneumatica.

Forse ciò non basta ancora a spiegarci il come le vibrazioni si traducano in suoni?

Spandendo sopra una lastra di vetro alquanta sabbia fina, secondo le esperienze di Chladni (1), e facendo scorrere un archetto lungo uno dei lembi della lastra (fig. 10) si producono vibrazioni; si vedono allora i granelli di sabbia agitarsi, saltare in aria, con tanta maggior forza quanto più grande è l'intensità delle vibrazioni. Si nota inoltre che la sabbia scacciata da certi punti si ammonticchia in altri; le linee dove la sabbia si accumula son quelle parti ove il movimento è nullo, poichè, quando un corpo vibra, generalmente si divide in un certo numero di parti, ciascuna delle quali è animata da vibrazioni che le sono proprie; fra quelle parti vibranti esistono punti o linee che rimangono immobili, sono una specie di cerniere intorno alle quali vibrano in senso opposto le due porzioni contigue del corpo. Queste si

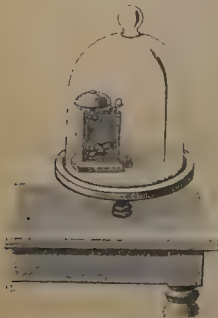



Fig. 9 — Campanello vibrante sotto la campana di una macchina pneumatica.

Fig. 10. Esperimenti di Chladni sopra una lastra quadrata.

chiamano nodi o linee nodali, e le parti vibranti dalle quali la sabbia è scacciata si chiamano ventri di vibrazione; si può ottenere un gran numero di disegni variati di linee nodali colla medesima lastra (fig. 11); tutto dipende dal modo come la si mette in vibrazione e secondo che si determina un nodo appoggiando il dito sopra un punto diverso; ma il medesimo disegno corrisponde sempre al medesimo suono (2).

(1) Federico Chladni, fisico tedesco, nato nel 1756, morto nel 1827.

(2) Si fecero degli studii, oltre che sui dischi rettangolari a lembi liberi, anche sui dischi circolari. Quando questi sono a lembi liberi, le linee nodali o figure di Chladni, disegnate dai granelli di sabbia di cui si coprono le linee, sono formate da circonferenze concentriche al disco. Ciascuno di essi dà una sola serie di suoni armonici gli uni agli altri, vale a dire che mentre il più grave, il più basso, fa una vibrazione, gli altri ne fanno un numero esattamente intero. Quando il disco è attaccato in certi punti dei suoi lembi, le linee nodali si foggiano a festoni come osservò Wertheim (fig. 12). Man mano che si limita il disco aumentando la parte incastonata, esso rimane sempre più impacciato ne' suoi movimenti proprii e diventa sempre più atto a rendere tutti i suoni. Questo fatto importante ci fa comprendere

Abbiamo testè veduto che le vibrazioni della piastra si comunicano alla sabbia; ora esse si comunicano nella medesima guisa allo strato d'aria che si trova in contatto colla superficie della piastra; quello

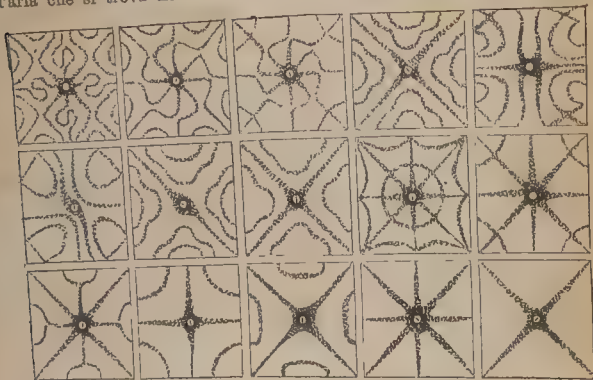



Fig. 11. — Disegni ottenuti con lastre quadrate.

strato trasmette le proprie vibrazioni allo strato d'aria successiva, le vibrazioni si comunicano successivamente agli strati d'aria vicini e si propagano così sino al momento in cui raggiungono lo strato di aria che si trova a contatto del nostro orecchio.

Fig. 12 — Disegni ottenuti con una lastra circolare.

Per ben comprendere ciò che ora deve succedere è indispensabile conoscere la struttura dell'apparato uditivo.

L'apparato uditivo (fig. 14) è diviso in tre regioni: l'orecchio esterno, l'orecchio medio, l'orecchio interno.

L'orecchio esterno è composto del padiglione O dell'orecchio e del condotto uditivo A che mette capo alla membrana del timpano (1).

L'orecchio medio, che può essere paragonato ad un vero tamburo, si chiama cassa del timpano. Questa cassa è limitata da una parte dalla membrana del timpano T, e dall'altra da una parte ossea P ove trovansi due aperture chiamate la finestra ovale o, e la finestra rotonda r; quelle due finestre sono chiuse da membrane sottilissime.

perché i dischi che devono vibrare sotto l'influenza di tutti i suoni (dischi dei fonografi e dei telefoni comuni) debbano essere immobilizzati nel loro contorno.

Tuttavia, anche in queste condizioni, il disco, come notava Mercadier, conserva ancora una lieve preferenza per alcuni suoni pei quali manifesta la sua simpatia, vibrando con maggiore ampiezza sotto la loro influenza che sotto quella dei suoni che li accompagnano.

(1) Timpano, dalla voce greca τύμπανον (timpanon) che significa tamburo.

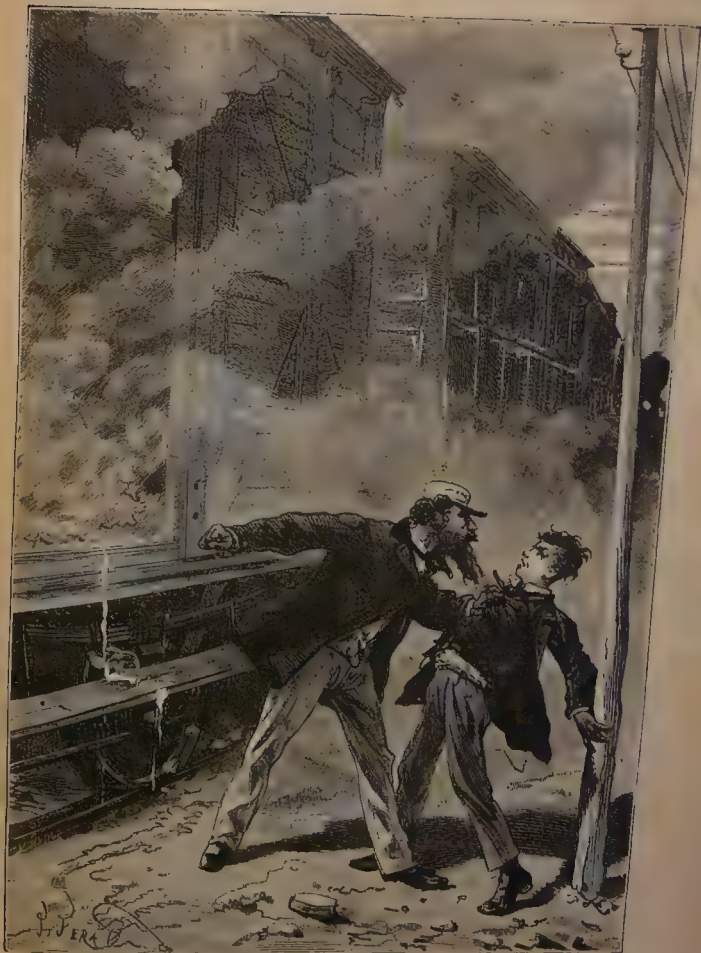



Fig. 13. — Il conduttore furibondo gettò sulla strada lo stampatore-fisico Edison che dovette rassegnarsi a veder partire il convoglio senza di lui.

Nella parte inferiore della cassa si trova l'imboccatura della tromba di Eustacchio E, condotto strettissimo che mette capo nella retrogola e che stabilisce così una comunicazione fra l'interno della cassa e l'aria esterna. Finalmente quella cassa, quella cavità, è attraversata da una catena di tre ossicini (fig. 15), il martello M, l'incudine C, e la staffa E. Certi muscoli fissati a quei tre ossicini imprimono loro dei movimenti per effetto dei quali essi premono più o meno fortemente sia sulla membrana del timpano col martello, sia sulla membrana della finestra ovale colla base della staffa, e regolano così la sensibilità di quelle membrane secondo la intensità o la debolezza delle vibrazioni. L'orecchio interno che, al pari dell'orecchio medio, è chiuso tutto quanto nelle parti dure dell'osso temporale, consta di tre cavità comunicanti tra esse e che si chiamano il vestibolo V, i canali semicircolari D e la chiocciola L.

Fig. 14. — Apparato uditivo.
O, padiglione. — A, condotto uditivo. — T, timpano. — P, parete ossea. — o finestra ovale. — r, finestra rotonda. — E, tromba di Eustacchio. — V, vestibolo. — D, canali semicircolari. — L, chiocciola. — X, nervo acustico.

Mentre l'orecchio medio (la cassa) è pieno d'aria, l'orecchio interno è pieno di un liquido nel quale pescano migliaja di fibrille colle quali termina un nervo che si diparte dal cervello, ed è il nervo acustico X.

Perchè il cervello percepisca le vibrazioni, fa dunque mestieri che quelle vibrazioni giungano sino all'orecchio interno e che, sotto la loro influenza, il liquido che bagna le fibrille terminali del nervo acustico entri esso pure in vibrazione.

Fig. 15 — MM, il martello — C, l'incudine. E, la staffa.

Se vogliam renderci conto del meccanismo dell'udizione, dobbiamo seguire il cammino delle vibrazioni attraverso le diverse parti dell'apparato uditivo, che si trovano interposte fra l'aria esterna ed il nervo acustico.

Noi abbiamo lasciato le vibrazioni della lastra di vetro, presa come esempio, nel momento in cui raggiungevano lo strato d'aria in contatto col nostro orecchio. Ora siamo in grado di seguire la via che stanno per percorrere.

Lo strato d'aria, in contatto col padiglione dell'orecchio, trasmette le vibrazioni agli strati d'aria successivi che si trovano nel condotto uditivo; sul fondo di quel condotto, le vibrazioni urtano contro

il timpano e questa membrana, ben tesa e molto elastica, si mette a vibrare.

Mercè l'aria che riempie la cassa, e la catena d'ossicini che attraversano quella cassa, la membrana del timpano comunica le vibrazioni alle membrane della finestra rotonda e della finestra ovale. Questi altri due timpani entrano in vibrazione a loro volta, e trasmettono le vibrazioni al liquido contenuto nell'orecchio interno.

Le vibrazioni di diversa durata che vengono simultaneamente ad animare quel liquido scuotono ciascuna una fibra particolare di una membrana denominata membrana basilare, situata nella chiocciola.

L'esperienza dimostra che se si fanno risuonare varie note musicali alla presenza di un istrumento da corda, arpa, pianoforte, ecc., quelle corde si mettono rispettivamente a vibrare ogni volta che si producono le note che sono loro proprie. Così per esempio la corda che dà il *la* entra in vibrazione se si emette lontano da essa e per mezzo di uno strumento qualunque, la medesima nota *la*.

Le fibre della membrana basilare sostengono la medesima parte delle corde dell'arpa.

Ciò spiegherebbe come l'orecchio abbia la facoltà di distrigare il caos dei suoni che gli pervengono e di riconoscere la loro individualità.

Le fibre della membrana basilare *BB* (fig. 16) fanno partecipare ai loro movimenti vibratorii le fibre di Corti *CC*, le quali, piantate a foggia d'arco sulla membrana basilare, comunicano le vibrazioni alle molteplici cellule nervose ed alle fibrille terminali del nervo acustico che, in ultimo luogo, le trasmette al cervello.

Fig. 16. — La membrana basilare *BB*, e le fibre di Corti *CC*.

Le vibrazioni della lastra di vetro sono dunque arrivate alla loro meta.

Nel modo stesso che riuscimmo a toccare col dito le vibrazioni del bicchiere di cristallo, arriviamo a toccare col nostro orecchio le vibrazioni della lastra di vetro.

A questo genere di tocco, a questo tatto dell'orecchio, si è dato il nome di udizione (1).

La vibrazione toccata dall'orecchio dicesi suono.

Noi adunque ora sappiamo che cosa sia il suono; quando avremo veduto con quale artificio si perviene a fissare e registrare il suono; potremo agevolmente comprendere l'azione e gli organi del fonografo.

Prendiamo un corpo vibrante, ed obblighiamolo a registrare esso stesso il suono che produce; costringiamolo a *scrivere* il numero, la grandezza e l'intensità delle sue vibrazioni.

Il mezzo è semplicissimo: imaginiamoci una verga vibrante assicurata ad un'estremità e portante all'altra una leggiera barba di penna che insiste debolmente sopra una lamina di vetro spalmata di nerofumo. Se la lamina è immobile, la barba di penna attaccata alla verga

(1) I sensi dell'udito, della vista, dell'odorato e del gusto non sono che modificazioni perfezionate del tatto.

chè vibra, ad ogni vibrazione della verga, ad ogni andata e ad ogni ritorno, leverà un po' di nerofumo, e lo leverà via secondo una piccola retta che descriverà periodicamente; in questo caso le vibrazioni saranno registrate sulla lamina, ma non saranno separate, non saranno leggibili separatamente, esse si confonderanno.

Se la lamina si sposta, i diversi punti toccati dalla barba di penna nelle epoche successive della corsa si troveranno in regioni diverse della lamina, ed allora le vibrazioni riusciranno separate e chiaramente registrate. La verga avrà *scritto* colla penna sulla lamina affumicata i suoi propri suoni.

Se l'inscrizione dovesse durare alcuni minuti, l'uso di una corta lamina di vetro sarebbe incomodo, perciò le si è sostituito un registratore cilindrico (fig. 17) che consiste in un cilindro portato da una vite gi-

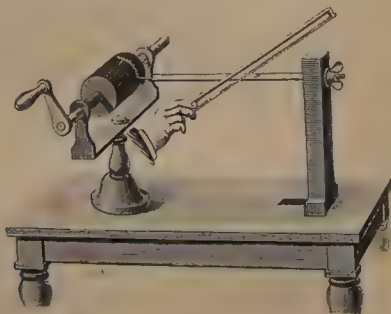



Fig. 17. — Asta vibrante che segna le sue vibrazioni.

rante in una madrevite fissa e sul quale è avvolta una carta affumicata. Facendo girare la manovella adattata alla vite, il cilindro riceve un doppio movimento, vale a dire un movimento di rotazione intorno al proprio asse ed uno di traslazione parallelamente al suo asse. Per un giro la traslazione è eguale al passo della vite. Un'asta metallica, solidamente assicurata per uno dei suoi capi, porta attaccata all'altro una punta acuminata, uno stile, che sfiora la superficie del cilindro. Se si fa girare il cilindro senza far vibrare l'asta, lo stile traccia in bianco sul fondo nero un'elica regolare; ma dal momento che si fa vibrare l'asta per mezzo, per esempio, di un arco, l'elica diventa sinuosa; ogni sinuosità come $A\ B\ C$ (fig. 18) rappresenta una vibrazione doppia; $B\ T$ è la massima deviazione che prende l'asta vibrante; la durata dell'inscrizione di una vibrazione doppia si chiama il periodo della vibrazione registrata (1).

(1) *Periodo*, dal greco περί (peri) ed ὁδός (odos) cammino, significante giro, circuito, contorno, poi corso, rivoluzione d'un astro, epoca, periodo. Qualsiasi fenomeno che si riproduce identicamente, nel medesimo tempo è un fenomeno « periodico. »

La nozione di *Periodicità* è fondamentale nella scienza; infatti, quasi tutti i fenomeni na-

L'asta vibrante ha dunque scritto, registrato essa medesima le sue vibrazioni, ma lo ha fatto direttamente senza l'intermediario dell'aria, in virtù del suo contatto colla carta annerita di fumo.

Ma come si farà poi per inscrivere vibrazioni questa volta non più comunicate per contatto diretto, ma trasmesse per l'intermediario dell'aria?

Abbiamo veduto come Edison nell'esperimentare il suo registratore cilindrico aveva sciolto il problema, poichè parlando sopra un diaframma di carta aveva ottenuto una rappresentazione grafica, vale a dire, scritta, disegnata, dei suoni.

Fig. 18. — *A B C*, vibrazione semplice *A B C D E*, vibrazione doppia.

Ma molti anni prima di Edison — poichè eravamo nel 1857 — un tipografo francese, Leone Scott di Martinville, aveva trovato la soluzione di quel problema inventando un istrumento che egli denominò *Fonautografo*, vale a dire « la voce che si scrive da sè stessa. »

Fonautografo! Fonografo!... La somiglianza non risiede solamente nel nome, poichè Violle (1) riconosce che Edison non ebbe che da modificare leggermente l'istrumento di Scott per fare di esso il fonografo, e Jamin e Bouty (2) scrivono che Edison è pervenuto a riprodurre la parola parlata con una disposizione molto analoga a quella del fonautografo di Scott.

turali sono *periodici* e sono essi quelli che rendono possibile la conoscenza del tempo. L'anno è il *periodo* del movimento della Terra intorno al Sole, vale a dire il tempo che la Terra impiega a fare il suo viaggio intorno al Sole. Il giorno è il *periodo* del movimento della Terra sopra sè stessa; un giorno vale 24 ore, 1440 minuti o 86,400 secondi. Il mese è il periodo del movimento della Luna intorno alla Terra, e vale circa 30 giorni.

La linea ideale, o linea dei poli, intorno alla quale la Terra effettua il suo giro quotidiano, si sposta essa pure, ma lentamente, ed impiega 25,765 anni a riprendere una data posizione. (Camillo Flammarion, *Astronomia popolare*.) Questi esempii bastano a mostrare l'importanza del periodo, a darne la nozione e farci conoscere il valore infinito dei valori che può assumere.

Ma non è già per anni, per mesi o per giorni che bisogna contare il periodo dei movimenti sonori, bisogna contarlo per frazioni di secondo. Così il *diapason* (1) o *corista* che dà il la_3, fa 435 vibrazioni per secondo, e, come è noto, serve a stabilire l'accordatura fra i diversi istrumenti di un'orchestra. Se esso vibrasse per tutto un giorno eseguirebbe 36 milioni 784 mila vibrazioni. Nel medesimo tempo, il suono più acuto che il nostro orecchio possa percepire 38000 vibrazioni per secondo, corrisponderebbe a 3 miliardi 280 milioni 200 mila vibrazioni; ed il suono più grave (16 vibrazioni per secondo) corrisponderebbe solo ad 1 milione 382 mila 400 vibrazioni.

Al di là o al di qua di quei limiti l'orecchio diviene insensibile, di maniera che se l'uomo fosse tutto ad un tratto trasportato in un pianeta nel quale i movimenti vibratorii avessero tutti un periodo minore della 38,000.ª parte di un secondo, o maggiore della 16.ª parte di un secondo, proverebbe la sensazione del silenzio assoluto.

Vedremo in seguito che i movimenti che danno origine alle impressioni luminose ed a certi fenomeni elettrici hanno un *periodo* ancora più breve; così, per esempio, il colore violetto si produce quando le molecole dell'etere — quel mezzo ipotetico, senza il quale non si potrebbe concepire la possibilità del maggior numero dei fenomeni fisici — fanno 728 trilioni di vibrazioni in un secondo; pel colore giallo 539 trilioni bastano ed il colore rosso non richiede che 497 trilioni di vibrazioni. Jamin e Bouty, *Ottica fisica*, 1887. La grandezza di quel numero e la picciolezza di quei *periodi* confondono l'intelletto.

Lo studio, un po' astratto, delle vibrazioni sonore è dunque estremamente fecondo, poichè nel tempo stesso che penetra il meccanismo dei movimenti molecolari della materia, ci permette di comprendere per analogia gli altri grandi fenomeni fisici.

(1) Violle, *Acustica*, cap. I.

(2) *Corso di Fisica della Scuola Politecnica*, tomo III.

(1) *Diapason*, dal greco δια (Dia) e πασων (pason) attraverso di tutte; sottinteso voci.
Nota del Trad.

Nel 1861, Leone Scott, che si occupava senza tregua del perfezionamento del suo apparecchio, presentò una nuova Memoria all'Accademia delle Scienze; malauguratamente, sprovvisto di mezzi di fortuna, mancante di appoggi, fu costretto a lasciar cadere il suo brevetto nel dominio pubblico e morì lasciando la moglie, nipote del frenologo Gall, ed i figliuoli nella più squallida miseria.

Ecco un'altra prova del grande assioma: le invenzioni che nascono prima del loro tempo *fatale* cadono nell'oblio e sono la rovina dell'inventore.

Tuttavia il povero inventore francese visse abbastanza per sentire i plausi coi quali, nel 1878, venne salutato il fonografo americano, ed ebbe il tempo di scrivere un opuscolo nel quale si studiava di rivendicare modestamente i suoi diritti.

Per ottenere l'inscrizione dei suoni, delle vibrazioni trasmesse dall'aria, Leone Scott ebbe l'idea di impiegare membrane. Il fonautografo (fig. 19) consta di un gran cartoccio o cornetto parabolico *P*, sul fondo del quale è tesa una membrana *M*. Sulla faccia esterna di quella membrana è assicurato, colla cera, uno stile *S* assai leggiero, composto di una setola di cignale, formante molla, e d'una barba di penna che va a sfiorare la carta affumicata di un registratore cilindrico *E*.

Se si fa vibrare un corpo, se si parla dinanzi l'imboccatura del cartoccio, le vibrazioni si propagano nell'aria che riempie il cartoccio stesso, sino al punto ove vanno ad urtare contro la membrana, la quale allora si mette a vibrare, e vibra nel medesimo tempo che lo stile attaccato alla sua faccia esterna. Quello stile scrive allora sulla carta del registratore, messo in rotazione, sia colla mano per mezzo della manovella *M*, sia da un motore a pesi *B*, le vibrazioni giunte sino a lui.

Noi abbiamo trovato alla Biblioteca Nazionale, in alcuni foglietti che non portano alcun titolo, la comunicazione fatta da Edoardo Leone Scott, il 28 ottobre 1857, alla Società di Incoraggiamento.

Ecco qua un estratto di quel discorso che rivela una mente elevata e distinta:

« Signori, vengo ad annunciarvi una buona novella. Il suono, al pari della luce, fornisce a distanza un'imagine durevole; la voce umana si scrive essa medesima (nella lingua propria dell'acustica, ben inteso) sopra uno strato sensibile. Dopo lunghi e perseveranti sforzi sono pervenuto a raccogliere il tracciato di quasi tutti i movimenti dell'aria che costituiscono sia suoni, sia rumori. Finalmente, i medesimi mezzi mi permettono di ottenere, in date condizioni, una rappresentazione fedele dei movimenti rapidi, dei movimenti inapprezzabili ai nostri sensi attesa la loro piccolezza, dei movimenti molecolari.

« In quest'arte nuova, come voi lo vedete, si tratta di obbligare la natura a costituire essa stessa una lingua generale scritta di tutti i suoni.

« Quando, or son quattro anni, nacque in me il pensiero di fissare sopra uno strato sensibile la traccia del movimento dell'aria durante il canto o la favella, le persone alle quali confidai il mio progetto non ristarono, per la massima parte, di trattarlo da sogno insensato. Questa parola, o signori, non valse a farmi smarrir d'animo, essa è il benvenuto col quale si accolgono le più belle conquiste dell'intelligenza umana, ed i miei deboli sforzi avevano ciò di comune con molte altre bellissime cose che incominciarono coll'essere nella culla utopie.

« È mio debito tuttavia convenire che quel giudizio sommario non mancava di qualche apparenza di ragione. Infatti, che cosa è la voce? Un movimento periodico

dell'aria che vi circonda, provocato dal giuoco dei nostri organi; ma un movimento assai complesso ed infinitamente delicato, sottile e rapido... Come si potrebbe pervenire a raccogliere una traccia chiara, precisa e completa di un simile movimento incapace di far fremere solo un ciglio delle nostre palpebre? Ah! se io potessi posare su quest'aria che mi circonda e che nasconde tutti gli elementi di un suono, una penna, uno stile, questa penna e questo stile formerebbero una traccia sopra uno strato fluido appropriato. Ma dove trovare il punto d'appoggio? ...Attaccare una penna a quel fluido fuggevole, impalpabile, invisibile, è una chimera, è una cosa impossibile!... Aspettate. Codesto problema insolubile è già sciolto in parte. Consideriamo attentamente quella meraviglia fra tutte le maraviglie che è l'orecchio umano. Dico che il nostro problema è sciolto nel fenomeno dell'udizione, e che gli artificii impiegati nella struttura dell'orecchio devono condurci alla meta. Trovato questo punto, le cose diventano di una rara semplicità. Che cosa vediamo noi prima di tutto nell'orecchio? Un condotto. Quel condotto conduce, senza alterazione, senza dispersione, l'onda sonora, per complessa che sia, da un'estremità all'altra,

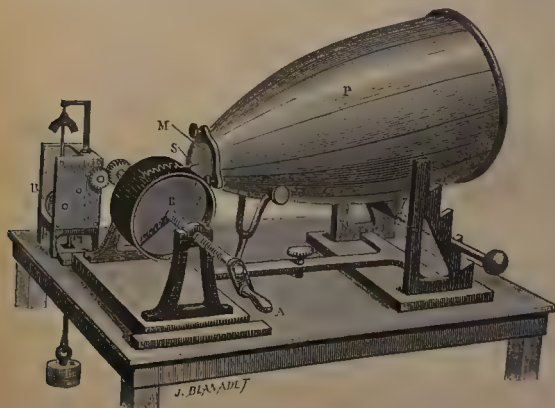



Fig. 19. — Il fonautografo di Leone Scott di Martinville.

preservandola da tutte le cause accidentali che potrebbero turbarla. Io mi impossesso del condotto e lo foggio in una specie di imbuto per radunare il suono verso la sua estremità più piccola.

« Proseguiamo l'esame dell'orecchio. Subito dopo il condotto esterno ed in seguito ad esso, incontro una membrana sottile, tesa, inclinata. Ma che cosa è una membrana sottile e semitesa, o signori, in questa architettura fisica che ci occupa? Essa, secondo la esatta definizione di Muller, è qualche cosa di misto, metà solido, metà fluido. Essa partecipa dell'uno per la coerenza, dell'altro per l'estrema facilità di spostamento di tutte le sue molecole.

« Ed ecco, o signori, che noi ora teniam fra le mani il filo luminoso che deve guidarci; quel punto d'appoggio che cercavamo per la nostra penna, pel nostro stile sul fluido in movimento, esso è trovato; eccolo: è una membrana sottile che collocheremo all'estremità del nostro condotto uditivo artificiale... E lo stile, applicato sulla membrana, segnerà le sue traccie sopra uno strato di nerofumo deposto sopra un corpo qualunque (metallo, legno, carta) animato da un movimento uniforme, affinchè le traccie formate non rientrino le une nelle altre. »

Dopo alcune considerazioni sull'acustica e diversi esempii di applicazione del suo apparecchio, Scott conclude con queste parole:

« Scorgendo il libro della natura aperto agli sguardi di tutti gli uomini, ho creduto di potermi provare a leggere anch'io. Il compito che mi sono assegnato è più « d'altri omeri soma che dei miei: » tutto ciò che rimane da farsi, io non saprei compirlo da solo. Il poco che tradussi in fatto, ciò che intravedo ancora, voi, o signori, non isdegnerete di esaminarlo; e se dividete in parte le mie speranze, vogliate rammentarvi che nell'atto di dedicarvi queste primizie, sono venuto a dirvi Ajutatemi. »

A tale comunicazione, Lissajous, il 6 gennajo 1858, rispose stendendo un rapporto favorevole in nome del Comitato delle arti economiche sulle prove fonautografiche di Scott (1).

Ecco dunque ottenuta l'inscrizione delle vibrazioni trasmesse per l'intermediario dell'aria, per mezzo del fonautografo.

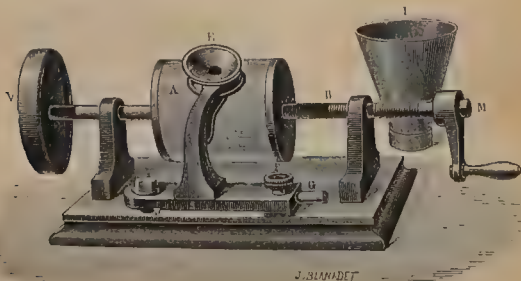



Fig. 20. — Il primo fonografo di Edison (1878).

Nessuno pensava ancora al problema inverso: come animare, rigenerare quelle vibrazioni scritte? Come rendere percettibili all' orecchio quelle vibrazioni solo percettibili all'occhio?

È chiaro che se si poteva obbligare la membrana a vibrare nella medesima maniera, a ripetere i medesimi movimenti effettuati all' atto della inscrizione, l'orecchio avrebbe percepito le medesime vibrazioni, che è quanto dire udito i medesimi suoni.

Fu solo nel 1878 che il primo fonografo di Edison tradusse in fatto l'idea, non solo di ottenere un tracciato grafico, scritto per mezzo delle vibrazioni di un corpo o delle vibrazioni della voce, ma eziandio di impiegare quel tracciato per riprodurre quelle vibrazioni con fedeltà.

Quel primo fonografo consta di un cilindro di rame *A* (fig. 20) montato sopra un asse munito di un passo di vite *B*. La superficie del cilindro è solcata da una leggiera scanalatura ad elica dello stesso passo che ha la vite dell'asse. Dunque, se si fa girare il cilindro per

(1) *Bollettino della Società di incoraggiamento all'industria nazionale*, tomo V, 2ª serie, anno 1858.

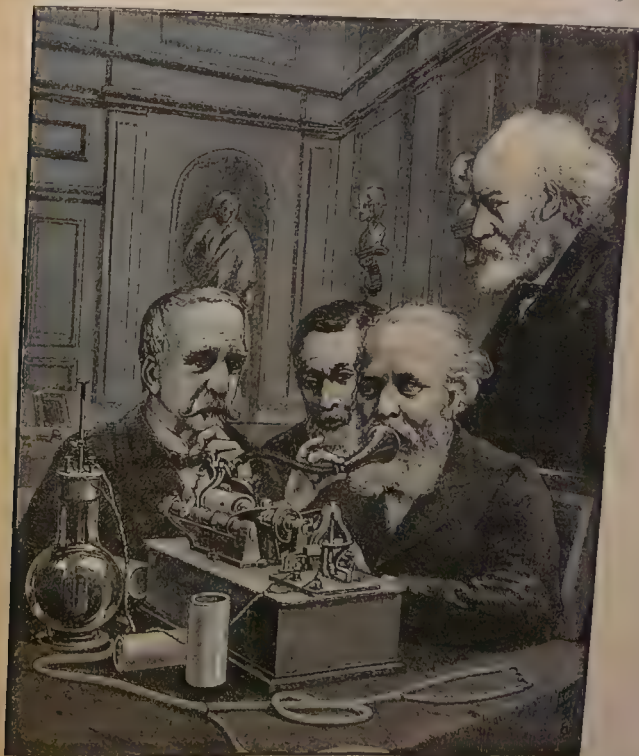
mezzo di una manovella M assestata all'estremità dell'asse, il solco elicoidale progredirà ad ogni giro di una lunghezza eguale al suo passo. Una foglia metallica formata di lega di piombo e di stagno,

Duca d'Aumale. Di Cloizeaux. Gounod. Janssen.

Fig. 21. — Il fonografo alla seduta dell'Accademia di Belle Arti (27 aprile 1880)

copre, inviluppa il cilindro, e la si preme lievemente in guisa che indichi il disegno del solco.

Omai si capisce che se una punta ottusa, vale a dire una punta

smussata, uno stile nè acuminato, nè tagliente, si appoggerà su quella foglia metallica molle nella parte ove non è sostenuta — e questa parte è la via del solco — la spinta produrrà una depressione del metallo che persisterà per effetto della mollezza della lega adoperata.

La punta ottusa, o stile registratore *S* (fig. 22), è metallica, rigida, corta, leggiera. Essa è assicurata all'estremità di una molla rettilinea *Z*, la quale, per l'intermediario di due piccoli anelli di caucciù *a a* formanti tappo, preme contro la membrana dinanzi alla quale si produrrà la vibrazione. Quella membrana metallica sottilissima, *M*, costituisce il fondo di un imbuto svasato o bocchino *E*. Tutti questi organi, costituenti il sistema inscrittore sono disposti sopra un sostegno *S* dinanzi il cilindro *A*.

Si regola la punta smussata in guisa che essa tocchi, senza pressione, il punto di partenza del solco elicoidale scavato sulla superficie del cilindro; ed allora tutto è pronto per entrare in azione: si parla davanti all'imboccatura, nel tempo stesso che si gira la manovella nel senso diretto; la membrana metallica riceve le vibrazioni della parola e, per l'intermediario dei tappi di caucciù e della molla, trasmette quelle vibrazioni alla punta ottusa che a sua volta le imprime sul foglio di stagno e piombo che traccia su quel foglio un' impronta più o meno rilevata secondo l'intensità delle vibrazioni.

Fig. 22. — Sezione del primo fonografo.

Ecco dunque la parola registrata, scritta.

Si vuole riprodurla? Si riconduce il cilindro alla posizione iniziale girando la manovella in senso inverso, dopo aver sollevato la punta ottusa perchè non prema più sul foglio di stagno e piombo. Si rimette la punta sul punto di partenza del solco e si gira la manovella nel senso diretto come precedentemente.

Di subito la punta ritrova le traccie concave da essa prodotte nella foglia di stagno e piombo, essa si alza e si abbassa alternativamente secondo le eminenze e le depressioni che incontra; e siccome è legata alla membrana metallica che ha ricevuto poco prima le vibrazioni della parola, trascina seco la membrana e la obbliga ad eseguire così una serie di movimenti affatto identici a quelli che la parola le aveva comunicato.

Quei movimenti, lo si è compreso, non sono altro che la riproduzione delle vibrazioni che furono scritte sul foglio di stagno e piombo.

La membrana vibrando trasmette le sue vibrazioni all'aria; le vibrazioni dell'aria vanno ad impressionare l'orecchio; il suono è riprodotto, la parola è intesa.

Fu solo il 15 gennajo 1878 che Edison prese il brevetto pel suo primo fonografo. Ora conviene sapere che il 30 aprile 1877, un francese, Carlo

Cros (1), aveva depositato un piego suggellato all'Accademia delle Scienze. Quel piego, che in seguito alla domanda di Cros, fu aperto il 3 dicembre dello stesso anno 1877, conteneva il mezzo di riprodurre la parola, conteneva l'invenzione del fonografo. Attesa la grande importanza del documento, ci sembra prezzo dell'opera qui riferirne il testo nelle sue parti più interessanti.

« In generale, scriveva Carlo Cros, il mio metodo consiste nell'ottenere la traccia del movimento alternativo di una membrana vibrante, e nel servirsi di quel tracciato per riprodurre il medesimo movimento di va e vieni, colle sue relazioni intrinseche di durata e di intensità, sulla membrana stessa o sopra un'altra appropriata per rendere i suoni e i rumori che risultano da codesta serie di movimenti.

« Si tratta dunque di trasformare un tracciato delicatissimo, quale è quello che si ottiene con indici leggieri rasentanti superficie annerite alla fiamma, di rendere, dirò meglio, quei tracciati in rilievo od incavati, resistenti, atti a guidare un mobile che trasmetterà i suoi movimenti alla membrana sonora.

« Un indice leggiero è solidale col centro di figura di una membrana vibrante: esso finisce con una punta (filo metallico, barba di pinna, ecc.) che si appoggia sopra una superficie annerita alla fiamma. Questa superficie fa corpo con un disco animato da un doppio movimento di rotazione e di progressione rettilinea. Se la membrana è in riposo, la punta traccierà una spirale semplice; se la membrana vibra, la spirale tracciata riescirà ondulata, e le sue ondulazioni presenteranno esattamente tutti i va e vieni della membrana nel loro tempo e nella loro intensità.

« Codesta spirale ondulata e tracciata in trasparenza si trasforma, per mezzo di metodi fotografici attualmente ben noti, in una linea delle stesse dimensioni tracciata in incavo od in rilievo sopra una materia resistente, come sarebbe per esempio l'acciajo temperato.

« Ciò fatto, si mette quella superficie resistente in un apparecchio motore che la fa girare e progredire con velocità e movimento simili a quelli di cui fu animata la superficie di registrazione. Una punta metallica, se il tracciato è ad incavo; un dito con intaccatura, se quello è in rilievo, son mantenuti da una molla a contatto di quel tracciato, e, d'altra parte, l'indice che sostiene quella punta è solidale col centro di figura della membrana atta a produrre suoni. In tali condizioni la membrana non sarà più animata dall'aria vibrante, ma lo sarà dal tracciato che dirige l'indice a punta, con impulsi esattamente simili per durata ed intensità a quelli che aveva subito la membrana di registrazione.

« Il tracciato spirale rappresenta tempi successivi eguali per mezzo di lunghezze crescenti o decrescenti. Ciò non è cagione di inconvenienti quando non si utilizza che la porzione periferica del cerchio girante, essendo le spire molto vicine; ma in questo caso si perde la superficie centrale.

« In ogni caso il tracciato dell'elica sopra un cilindro è sempre da preferirsi, ed io al presente mi occupo di trovarne l'effettuazione pratica (2). »

Codesta « effettuazione pratica » Carlo Cros non ebbe nè il tempo nè il danaro necessario per trovarla. Egli è morto lasciando nell'indigenza la moglie e due figliuoli, come l'altro francese Leone Scott. A Cros mancarono solo i mezzi per condurre a buon fine l'opera sua, ed anzi si può affermare con certezza che se avesse avuto a sua disposizione il laboratorio di Llewellyn-Park, egli avrebbe immediatamente e vittoriosamente tradotto in fatto la sua idea.

Alcuni giorni dopo l'apertura del piego suggellato all'Accademia delle Scienze, Carlo Cros, che indarno aveva proposto a parecchi meccanici la costruzione del suo apparecchio, scriveva a Vittorio Meunier la let-

(1) Nato a Fabrezan (Aude) il 1.° ottobre 1842, morto a Parigi il 9 agosto 1888.
(2) Resoconto dell'Accademia delle Scienze, anno 1877, tomo LXXXV, pag. 1082

tera seguente, dalla quale apparisce come sia triste in Francia la condizione dell'inventore:

« Ecco dunque a qual punto io sono: fui a visitare B... e non incontrai che N... che io già conosceva e col quale mi trovai altra volta in ottime relazioni a proposito dei due apparecchi telegrafici che ho inventato. N... fece da prima le mostre di non riconoscermi, poi di ignorare affatto lo scopo della mia visita. Gli spiegai il mio affare e gli rammentai che lo aveva già spiegato a B... qualche mese prima.

« Egli mi rispose: siamo troppo occupati per immischiarci in questa faccenda e d'altra parte voglio avvisarvi che *persone di prima forza* stanno in questo momento facendo indagini precisamente nel senso che voi indicate. Fate dunque i vostri esperimenti da voi stesso e studiatevi di arrivare per il primo.

« Gli feci osservare che nessuna formola era stata pubblicata prima delle mie; lo pregai di declinarmi i nomi di quelle persone di prima forza (naturalmente io sono molto al disotto di esse poichè son venuto prima). Egli mi disse due nomi, uno di forma tedesca, l'altro di forma italiana, se pure non ho male inteso e la memoria non mi tradisce.

« Si direbbe che siamo ad una seconda edizione della *Fotografia dei colori*, oggi entrata nella pratica industriale e che in generale pochi attribuiscono a me... Dujardin riprodusse in colori le tappezzerie della guardaroba colla fotografia *in tre tirature*, gialla, rossa e blu, più una tiratura di correzione. E nondimeno si incominciò col trovare la mia invenzione affatto priva di interesse...

« A lungo andare forse mi si farà giustizia, ma, frattanto, vi ha in queste cose

Fig. 23. Fig. 24. Fig. 25.

Inscrizioni di uno stile sopra un piano di vetro affumicato.

un esempio della tirannia scientifica del capitale, esempio che sottopongo ai vostri riflessi.

« Si esprime questa tirannia dicendo: Le teorie sono cose piantate in aria e non hanno valore di sorta: mostrateci *gli esperimenti, i fatti.* Ed il danaro per fare quegli esperimenti? Ed il danaro per poter mostrare quei fatti? — Cavatevela come potete.

« Gli è perciò che in Francia molte cose non si fanno. »

E noi potremmo aggiungere in guisa di commento: Ed è perciò che i francesi « pensano » e gli altri « eseguiscono » (1).

Leone Scott aveva dunque inventato il mezzo di registrare la voce col *fonautografo*, e Carlo Cros il mezzo di riprodurla col suo *Paleofono.* Gli è con questo vocabolo che egli designava la sua invenzione.

(1) Cros, non potendo trovare un costruttore che gli fabbricasse il suo apparecchio, non ebbe altro spediente tranne quello di far inserire in un giornale, che si degnò di accoglierlo, il contenuto del suo piego suggellato. In quel modesto giornale, *La settimana del clero*, si leggono le linee seguenti che l'abate Leblanc, in data del 10 ottobre 1877, dedicava all'invenzione di Cros battezzandola col nome — oggi famoso — di fonografo: « Si tratta nientemeno che di conservare i suoni in magazzino per poi riprodurli, ripeterli quando si vuole in maniera indefinita, così coll'invenzione di Carlo Cros. Voi cantate supponiamo, una strofa, pronunziate un discorso, ecc. L'istrumento ha ricevuto e stenografato la vostra musica e quando lo si metterà in moto, riprodurrà la vostra voce, le vostre parole, il vostro canto, le vostre articolazioni, ecc. Con questo istrumento, che noi chiameremmo *Fonografo* si otterranno le fotografie della voce come si ottengono i lineamenti del volto. »

Il vocabolo gli piaceva. « Esso mi sembra facile a tenersi a memoria, egli scriveva, e significando esso, « voce del passato, » si applica con molta proprietà alla funzione dell'apparecchio. »

Quel *Paleofono* che Cros non potè far costruire in Francia, fu costrutto, or fa qualche anno, in America da Berliner di Washington, il quale costruì un apparecchio che chiamò *grammofono* (1) e nel quale mise in opera, si potrebbe dire alla lettera, il concetto di Cros.

Berliner scelse una superficie piana che animò di un doppio movimento circolare e rettilineo, come indicava Carlo Cros.

Si comprenderà agevolmente in qual modo avvenga l'inscrizione, riflettendo su quanto stiamo per dire.

Ecco qua uno stile S a contatto con un piano di vetro affumicato. Se il piano si sposta in linea retta, lo stile, che ancora non facciamo vibrare, traccierà forzatamente una linea retta.

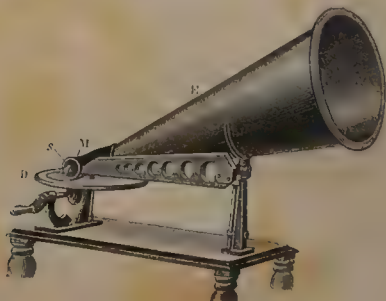



Fig. 26. — Il grammofono di Berliner.

Se il piano gira intorno un asse O, lo stile S descriverà una circonferenza di raggio SO (fig. 23).

Se il piano è animato nel tempo stesso dei due movimenti circolare e rettilineo, la circonferenza non si chiuderà guari al ritorno, e lo stile S traccierà una linea a lumaca o spirale (fig. 24).

E se ora faremo vibrare lo stile S, questo traccierà la spirale dentellata « ondulata » di cui parlava Cros (fig. 25).

Berliner per altro non fece uso di un piano di vetro: egli prese come superficie piana un disco di zinco di 30 centimetri di diametro sul quale versava una dissoluzione di cera; il dissolvente si evapora e lo zinco si trova coperto di un sottil strato di cera che presenterà una debole resistenza allo stile inscrittore.

Quello stile S è assicurato, come nel *fonautografo*, nel mezzo di una membrana M che termina il corno acustico E (fig. 26). Se si parla in

(1) Istrumento « che scrive la voce » dal greco γράμμα (gramma, lettera, scritto, e φωνή (phonè) voce, suono.

quel corno lo stile inscrive le vibrazioni della voce sulla cera che copre il disco di zinco *D*. Terminata che sia l'inscrizione, per mezzo dell'acido cromico si intacca il disco di zinco nei punti dove lo stile ha disegnato levando via la cera la sua spirale dentellata. Qui succede precisamente il medesimo fatto che si verifica nell' incisione all'acquaforte; l'acido morde il metallo nei punti ove non è protetto dalla cera. In capo ad un quarto d'ora si vede benissimo colla lente un leggiero solco ondulato inciso sullo zinco. Allora si rimette il disco nell'apparecchio e lo stile, obbligato a seguire i particolari del solco, trasmette alla membrana i movimenti che questa aveva ricevuto all'atto della inscrizione, e così riproduce la parola.

Il *grammofono* è dotato di una forza reale, poichè i suoni che esso riproduce si possono sentire a 15 metri di distanza.

Il primo fonografo di Edison, che ebbe tanta voga all'Esposizione di elettricità, nel palazzo dell' Industria, nel 1881, era ben lontano dall'essere un istrumento perfetto. I suoni ne erano nasali, trascurava o dimenticava gli *o* e rinforzava con affettazione comica le *r* e certe vocali. Prestando orecchio attento si potevano afferrare le parole articolate con molto fracasso dall'istrumento, ma era impossibile di riconoscere la voce della persona che aveva primitivamente parlato. I movimenti delicati che danno alla favella il suo colorito, vale a dire il metallo della voce e l'intonazione, non venivano riprodotti.

Le parole sembravano contraffatte; era una vera parodia della voce. Oltre a ciò, la chiarezza delle udizioni successive di una stessa frase si indeboliva presto e quindi non la si poteva ripetere gran numero di volte. Siccome la foglia di stagno non possiede la flessibilità, la mollezza necessarie, le impronte che aveva ricevute si trovavano deformate ed alterate da un nuovo contatto collo stile. Eppoi non c'era nemmeno da pensare a spedire un *fonogramma* come si spedisce un telegramma; si sarebbe potuto spedire l'istrumento, ma ciò non era pratico; spedire la sola foglia di stagno lo era ancora meno, poichè non si poteva staccarla senza alterare le traccie, le impronte concave e convesse che essa portava, e non si sarebbe riusciti ad adattarla esattamente sul fonografo della stazione d'arrivo.

Aggiungiamo che siccome ogni nota corrisponde ad un numero determinato e molto considerevole di vibrazioni per secondo, la riproduzione della musica, melodia o armonia, richiede un movimento rapido ed uniforme del cilindro registratore. Ora era malagevole arrivare a tale regolarità girando semplicemente il cilindro colla mano per mezzo di una manovella. Se sul cilindro del fonografo, animato da un movimento uniforme, in guisa da fare, per esempio, cento giri per secondo, si inscrive la nota la_3, che corrisponde a 435 vibrazioni complete per secondo, sarà mestieri, per ottenere la riproduzione di quella nota, conservare la medesima velocità di cento giri per secondo. Se quella velocità diventasse doppia, non si otterrebbe più la riproduzione della nota scritta, ma l'ottava alta di quella nota, poichè la membrana vibrante effettuerebbe allora un numero doppio di vibrazioni, cioè in un secondo ne farebbe 870 in luogo di 435.

Date queste condizioni, quel primo fonografo non poteva che restare un istrumento di poca utilità, buono soltanto pei gabinetti di fisica.

Quel fonografo, ideato nel 1878, conservò le sue imperfezioni pel corso di dieci anni.

Del resto, ecco come Edison stesso si esprimeva in riguardo al suo fonografo nel giornale il *New-York World*, del 6 novembre 1887.

« L'apparecchio pesa circa 100 libbre, costa molto caro, e, ove si eccettui il caso di una competenza affatto speciale, nessuno saprebbe in che cosa lo si potrebbe usufruire.

« Il tracciato eseguito dalla punta d'acciajo sulla foglia di stagno non può servire che un picciol numero di volte. *Io stesso nutro il dubbio di poter mai vedere un fonografo perfetto capace di immagazzinare la voce comune e di riprodurla in una maniera chiara ed intelligibile.* Son certo per altro che, se noi non perverremo a farlo, lo farà la generazione ventura. Ho quindi lasciato il fonografo per dedicarmi alla luce elettrica, certo di aver seminato un grano che un giorno darà frutto. »

Dopo una tale confessione, dopo una tale dichiarazione di sfiducia in sè stesso, come avvenne che alla vigilia dell'Esposizione Universale del 1889, Edison ci abbia presentato un fonografo perfezionato, compito, quasi perfetto?

In sì breve lasso di tempo — dal 6 novembre 1883 al 23 aprile 1889, — giorno in cui il nuovo apparecchio venne esperimentato all'Accademia delle Scienze, Edison si era rimosso dalla decisione presa di non più occuparsi del fonografo ed aveva scoperto il perfezionamento che dubitava di non veder mai e che lasciava alla ventura generazione da tradurre in fatto.

Che cosa era successo? Quale era la causa di questa resipiscenza?

L'imperfezione principale del primo fonografo risiedeva, come avemmo occasione di notare, nella foglia di stagno. Sarebbe stato mestieri poter surrogare quel metallo con una sostanza ad un tempo molle quanto bastava per ricevere le minime traccie della pressione dello stile, e dura abbastanza per conservarle e permetterne l'esatta riproduzione. Ci era in ciò una difficoltà analoga a quella che si presentò nella fabbricazione dei caratteri da stampa; il piombo si schiacciava sotto la pressione del torchio, l'antimonio si spezzava; una lega opportuna dei due metalli diede le qualità richieste.

Ora, quella sostanza indispensabile al fonografo, Summer Tainter di Washington l'aveva trovata.

Tainter nel 1885 aveva ideato un apparecchio registratore e riproduttore della parola, cui dava il nome di *grafofono*. Abbandonato l'uso difettoso dello stagno, pervenne, dopo lunghe ricerche, ad ottenere una sostanza perfetta in un miscuglio di cere, di origine e di qualità diverse.

Da quel momento in poi il *grafofono* divenne un istrumento pratico ed il fonografo non istava molto per divenirlo.

Infatti, Edison introdusse nel suo apparecchio il sistema Tainter (1), e fu così che il fonografo si trovò in grado di essere presentato all'Accademia delle Scienze il 23 aprile 1889.

La Società Edison ci fa sapere che Raffaele Chandos (2) paga al

(1) Accademia delle Scienze, seduta del 3 giugno 1889: « Il signor Edison ha confermato l'esattezza delle scoperte del professore Tainter, adottandole per quell'apparecchio che chiama il suo fonografo perfezionato. » (*Nota letta da Osthеimer.*)

(2) *Revue scientifique*, num. 1, II semestre 1889.

signor Summer Tainter un canone di 10 dollari (50 franchi) per ogni apparecchio venduto, e ciò come compenso della concessione di applicare quel metodo speciale nella costruzione del fonografo (1).

Vediamo ora quali sono gli organi del fonografo attuale che, al dire di Janssen, ci portò « la soluzione di uno dei problemi più ardui che l'uomo abbia potuto proporsi. »

La foglia primitiva di stagno fu surrogata da un cilindro di cera di 115 millimetri di lunghezza e di 50 millimetri di diametro.

Quella cera è composta di una mescolanza di cera molle del commercio (cera d'api) e di cera dura del carnauba.

Ma che cos'è questo carnauba? È un palmizio che cresce in abbondanza nel settentrione del Brasile, particolarmente nella provincia di Ceara: le foglie di questo palmizio secernono la cera. Sulla faccia su-

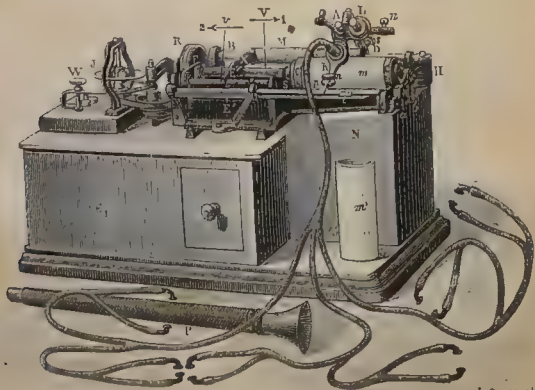



Fig. 27. — Il fonografo perfezionato di Edison (1889).

periore delle foglie si osserva una materia secca, polverulenta, di color cinereo: è la cera vegetale.

Essa si stacca al menomo urto quando le foglie incominciano a svilupparsi, e più tardi la più lieve brezza basta per disperderla. Per ottenere la cera del carnauba, si tagliano le foglie ogni quindici giorni durante i sei mesi della stagione asciutta e si ha cura di risparmiare il germoglio centrale che deve fornire la raccolta seguente. Questa, a dir vero, non si fa molto aspettare, vista la rapidità della vegetazione. Si fanno seccare le foglie sul posto sciorinandole in filo col rovescio appoggiato sul suolo: poi si accatastano, e alcune donne le scuotono

(1) È la società *North-American*, che ha acquistato il brevetto del fonografo Edison, e che assoggettandosi a pagare il canone precitato si è assicurato lo smercio esclusivo agli Stati Uniti degli apparecchi costrutti dalla *Tainter Graphophone Company*.

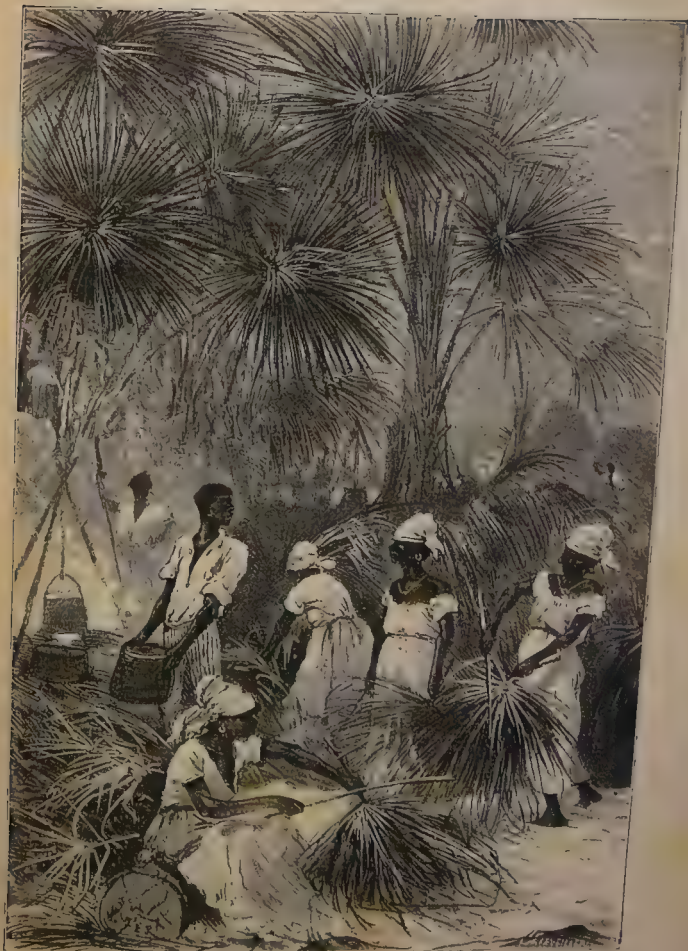



Fig. 28.
La raccolta al Brasile della cera del carnauba che serve alla composizione del cilindro del fonografo

sopra un largo panno battendole con un bastoncino. La polvere di cera così raccolta, viene immediatamente fusa entro vasi di terra.

Dunque, come si è accennato, il cilindro sul quale devonsi inscrivere le vibrazioni della voce, è formato di una mescolanza speciale di cere.

Per formare il çilindro si versa la cera fusa in uno stampo, e questa operazione richiede certe precauzioni in vista del ritiro che accompagna sempre il raffreddamento della cera. Per rendere levigata, come è indispensabile, la superficie del cilindro, la si passa al torno dopo averne isolato l'interno, ovvero, dopo averla portata alla temperatura di quaranta gradi, la si comprime fra le superficie molto liscie di una forma e di una spina.

Il cilindro rigorosamente geometrico all'esterno è leggiermente conico all'interno, e deve adattarsi esattamente sul cilindro di rame *C C* (fig. 27) (1).

L'asse del cilindro *C C* porta, sul suo prolungamento *V*, una vite il cui passo — vale a dire la distanza fra due spire consecutive — è di un quarto di millimetro. All'estremità di quell'asse è infissa una puleggia *R*, nella cui gola scorre una cigna *F*. Un motore elettrico, chiuso in *E*, nella cassetta di legno che serve di piedestallo all'apparecchio, comunica al cilindro, per l'intermediario della cigna *F*, un movimento di rotazione uniforme. In *J* si vede il regolatore a palla di quel motore.

È da notarsi che la vite *V* e, per conseguenza, il cilindro *C C* non assumono in questo fonografo un movimento di traslazione come nel primo modello.

I bracci *X* e *D* sono solidali con un tubo *M* che può scorrere sopra una sbarra orizzontale e fissa *B*.

Mercè la porzione di madrevite *E* che si adatta sulla vite *V*, questa girando fa progredire uniformemente il tubo *M*, ed i pezzi che porta, di un quarto di millimetro per giro nel senso della freccia.

La traslazione nel senso della freccia 2 si ottiene agevolmente: infatti, un mezzo giro della vite *a* solleva una specie di rotaja *S*, che spingendosi innanzi il braccio *X*, svincola *E* da *V* ed in pari tempo fa mordere il dente *E* sulla vite *v*. Questa vite è disposta in guisa da produrre una traslazione inversa della precedente, il che si può tradurre in fatto, sia dando ai maschi delle due viti *v* e *V* la medesima orientazione e facendoli girare in senso inverso, sia facendoli girare nel medesimo senso, ma dando ai maschi stessi un'orientazione opposta.

Il passo della vite *v* è molto più grande di quello della vite *V*, quindi i movimenti all'indietro sono più rapidi.

Gli organi solidali del braccio *D* sono delicati ed importanti.

La leva *K L*, piegata ad angolo retto, può girare intorno alla cerniera *A*. È dunque facile sostituire l'uno all'altro i due organi *K* ed *L*. Il primo di questi, incombenzato di registrare la parola, contiene un disco vibrante di vetro rappresentato nella sezione (fig. 29) da una doppia linea leggiermente convessa verso l'alto. Esso è appoggiato pel suo orlo sulle due porzioni ombreggiate della montatura e, per l'intermediario di un tappo di caucciù piantato nel suo mezzo e di leve, fa agire un piccolo coltello molto tagliente, che è lo stile inscrittore. Il secondo,

(1) Si consulti anche la figura 1, rappresentante il fonografo e tolta da una fotografia eseguita nel laboratorio di Edison (Llewellyn-Park, Orange) il 7 dicembre 1888.

che deve riprodurre la parola, contiene (fig. 30), in luogo del disco di vetro, un diaframma di seta che obbedisce ad una punta smussata, la quale è poi lo stile riproduttore.

La manovra del fonografo è delle più semplici. Operando opportunamente sulla vite *a*, la rotaja *S* è sollevata, essa spinge la vite *r* che è appoggiata su di essa e rigetta perciò leggermente indietro il braccio *D*, inoltre fa che il dente *E'* prema sulla vite *r*. Tirando la vite *b* dopo averla estratta dalla sua madrevite, si fa girare intorno alla cerniera *H*, la traversa che sostiene l'asse *V* presso all'estremità *C*. Si può allora infilare il cilindro di cera sul cilindro di rame *C C'*, e si mette in azione di motore elettrico imprimendogli una velocità che si regola agevolmente per mezzo della vite *W*. Il sistema legato al braccio *D* vien trascinato nel senso della freccia 2. L' inscrittore *L* arrivato presso la estremità *C'* del cilindro di cera *m*, che forma manicotto sul cilindro di rame, viene assettato in guisa che il suo stile si affondi per qualche centesimo di millimetro nella cera, e questa regolazione si effettua per mezzo della vite *r*, la cui testa porta alcune divisioni. Essendo il portavoce *P* situato sull'inscrittore *L*, un mezzo giro della vite *a* rimette la rotaja al suo posto e rende la madrevite *E* solidale colla vite *V*. Da quel momento in poi lo stile cammina nel senso della freccia *1* e traccia un solco appena visibile sul cilindro di cera. È giunto il momento di far sentire dinanzi al padiglione del portavoce i suoni che si desidera di registrare.

Fig. 29. — Sezione dell'apparecchio inscrittore.

La pratica ha indicato per che ottenere una buona riproduzione di un pezzo musicale convien dare al cilindro una velocità di circa 60 giri per minuto. Se si vuole inscrivere la parola, si parla davanti al padiglione ad alta voce pronunciando bene e piuttosto lentamente. Lo stile inscrittore traccia sulla cera linee che corrispondono ai menomi particolari delle vibrazioni prodotte. Ormai il cilindro ha ricevuto l'impronta indelebile che conserverà la parola umana con tutto ciò che la rende personale: l'intonazione, il timbro, la velocità o la lentezza in conclusione con tutto ciò che ne costituisce l'accento.

Fig. 30. — Sezione dell'apparecchio riproduttore.

Se vogliono inscrivere suoni musicali, si dispone sull'inscrittore un cornetto acustico davanti al quale si fa suonare l'istrumento. Per registrare un pezzo di musica per pianoforte è necessario un cornetto di grandi dimensioni affinchè possa raccogliere e condurre tutti i suoni dell'istrumento sino al cilindro di cera (fig. 31).

Il truciolo di cera *B*, fine come un capello (rappresentato con forte ingrandimento nella figura 32) tagliato durante l'inscrizione dallo stile *A*, cade in una cassetta *N* situata al disotto di *C C'*.

Per rigenerare i suoni impressi sul cilindro di cera, si riconduce il braccio *D* verso *C'*, all'inscrittore *L* si sostituisce il riproduttore *K* facendo girare d'un angolo retto la leva *K L* intorno all' asse *A*. Finalmente si rimette la madre *E* sulla vite *V*.

Lo stile del riproduttore *K* è allora trascinato verso *C* e mentre cammina eseguisce i medesimi movimenti successivi dello stile *L*, poichè passa successivamente per tutte le posizioni che quello aveva preso.

Se si vuol ripetere una frase od un determinato brano di musica che incomincia di faccia ad una divisione nota del decimetro i, diviso in millimetri, si disporrà la punta p dirimpetto a quella divisione; cosa che si eseguisce facilmente per mezzo delle viti a, r e V il cui giuoco fu già spiegato.

Spesso per far più presto si sopprime la vite v e si riconduce indietro il sistema D colla mano.

Per ottenere una buona audizione è indispensabile di ascoltare il fonografo per mezzo di un tubo di cauciù collocato in K, e del quale un'estremità si biforca in due rami i cui capi si introducono nelle orecchie.

Si potrebbe credere che l'udizione fosse limitata ad una persona sola; no: parecchi tubi analoghi al suddescritto possono ricevere le vibrazioni sonore e portarle simultaneamente a cinque o sei persone, e quei tubi o si diramano tutti dal tubo principale, o partono da una cassetta rettangolare di legno, nella quale il tubo principale conduce le vibrazioni. Il tubo principale riempie la cassetta di suono, i *cannelli* lo distribuiscono agli orecchi.

Si può sentire il fonografo anche per mezzo di un cornetto acustico posto in K; quel cornetto permette di distribuire la voce in tutta la sala, ma allora la voce è un po' nasale. Per togliere al manicotto di cera la superficie solcata e renderlo atto a ricevere nuove inscrizioni, si fa uso di una piccola lama tagliente assicurata al braccio D; una vite a passo piccolissimo o vite micrometrica serve a regolare la lama in guisa da levare esattamente la grossezza stabilita (1). Edison propose di far scomparire completamente i segni dell'utensile per mezzo di un filo di platino scaldato da una corrente elettrica e tenuto aderente alla cera da una vite micrometrica.

Recentemente Edison ha impiegato come motore un motore a pedale identico a quello delle macchine da cucire, l'apparecchio così modificato è meno costoso; il movimento è reso uniforme da un regolatore a palle semplicissimo. L'ingegnoso inventore imitava anche in ciò il professor Sumner Tainter, di Washington, ed il suo grafofono.

Janssen, nella seduta dell'Accademia delle Scienze, nella quale presentò il nuovo fonografo ai suoi colleghi, così compendiava i perfezionamenti introdotti nell'apparecchio:

« Anzitutto, l'organo unico del primo fonografo, destinato a produrre, sotto l'influenza della voce o degli istrumenti musicali, impressioni sul cilindro ed a riprodurre poscia i suoni mediante l'azione del cilindro, fu duplicato: stile tagliente inscrittore e stile smussato riproduttore.

« Secondariamente, alla foglia di stagno fu sostituita una materia plastica sufficientemente duttile e ben appropriata, che si lascia tagliare con grande precisione e senza richiedere sforzo apprezzabile, e questa fu una trovata felice.

« Infine, nell'antico fonografo, era il cilindro inscrittore che si spostava; nel nuovo si sposta invece il piccolo apparecchio che porta le membrane e gli stili.

« Il movimento è dato dalla elettricità, un regolatore a palle munito di freno permette di ottenere velocità variabili, e per conseguenza una emissione di suoni più o meno rapida, laonde si può rallentare od accelerare l'emissione dei suoni, interromperla e riprenderla, ovvero anche ricominciare tutta l'emissione quante volte lo si desidera. »

(1) È la lama tagliente che si vede nella figura 1.

Il dotto accademico fece anche questa importante osservazione:

« È cosa molto interessante riconoscere che il fonografo vibrante può non solo registrare tutti i suoni della scala musicale, ma anche i suoni di un'orchestra completa che si presentino simultaneamente alla inscrizione. Questa è una osservazione di grandissimo interesse dal punto di vista teorico, attesochè essa ci rivela le meravigliose proprietà delle membrane elastiche. »

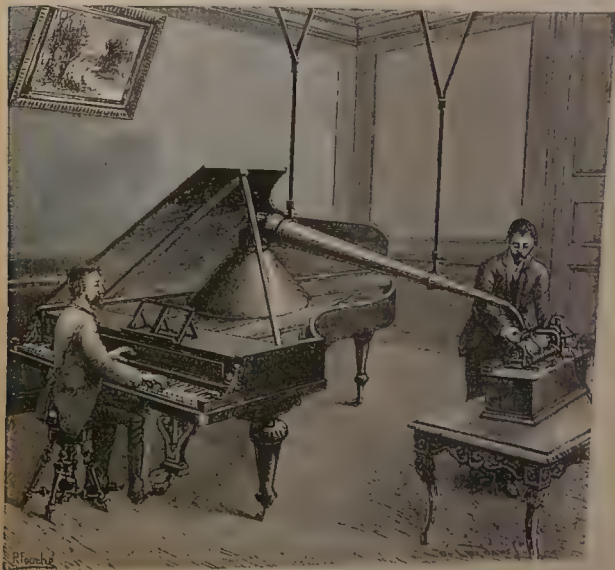



Fig. 31. — Inscrizione fonografica dei suoni musicali

La riproduzione integrale dei suoni di un'intera orchestra è difficilmente spiegabile. Nondimeno Vernier si è servito di una similitudine molto ingegnosa.

« Osservate un gavitello, un galleggiante che dondola in un porto; spira vento, e ad ogni istante piccole onde vengono a sollevare o ad abbassare il gavitello; battelli a vapore entrano, escono, si incrociano in tutti i sensi: cadaun battello diviene il centro mobile di piccole onde che increspano la superficie dell'acqua, e cadaun'onda va a colpire il gavitello obbediente e ad imprimergli il suo movimento. In un dato istante, questo riceve forse l'impulso di una cinquantina d'onde diverse che arrivano da tutte le parti, quelle onde non si contrariano punto, cadauna segue la sua strada, il gavitello riceve qualche cosa

da ciascuna di esse; i loro effetti si sommano, si sottraggono, ed il gavitello, che, in un dato momento, non può avere che una posizione unica, *totalizza* docilmente quelle impressioni multiple » (1).

La membrana del fonografo è il gavitello investito dalle onde sonore.

Tutte le posizioni che quelle onde gli fanno prendere si registrano sul cilindro di cera. Nel momento della riproduzione, il « qualche cosa » di ciascun'onda sonora registrata basta a scuotere le fibre della membrana basilare corrispondenti a quelle onde, e ciò permette all'orecchio di separarle nell'insieme.

Le fibre della membrana basilare sarebbero come tanti gavitelli che in luogo di essere agitati da tutte le onde che increspano la superficie dell'acqua, non dondolerebbero che sotto l'influenza di onde ben determinate e sempre le stesse.

I servigi che può rendere il fonografo sono molti e preziosi.

Gli uomini di Stato, gli avvocati, gli oratori, hanno la facilità di studiare i loro discorsi, col vantaggio di registrare le loro idee di mano in mano che si presentano, con una rapidità che l'articolazione sola eguaglierebbe, e di udirsi parlare come gli altri li odono. Gli attori, i cantanti, possono ripetere le loro parti, e trovano persino il mezzo di correggere la loro pronunzia e la loro intonazione.

Fig. 22 — Truciolo di cera staccato durante l'incisione.

Gli scrittori, i letterati, possono parlare in luogo di scrivere i loro articoli ed i loro libri. Lo scrittore americano Marco Twain disse un giorno ad Edison che a lui abbisognava un anno di tempo per decidersi a scrivere un romanzo, tale e tanta era la paura che gli incuteva il calamajo, e l'inventore per risposta gli fornì il mezzo di scrivere senza calamajo, regalandogli un fonografo. Marco Twain appena lo ebbe « fonografò » subito una novella.

Se gli antichi avessero posseduto codesto miracoloso istrumento, ci sarebbe in oggi concesso di udire Cicerone declamare le sue *Catilinarie*, Virgilio recitare le sue *Bucoliche*, Socrate e Platone discorrere di filosofia. « Che mai ne pensereste se aveste udito quel mostro? » diceva Eschine a proposito di un'arringa di Demostene. E noi pure, più di duemila anni dopo, avremmo potuto udire « quel mostro. »

Simili rimpianti saranno risparmiati alle generazioni future. Nei secoli avvenire, la posterità potrà evocare la parola ed i canti dei personaggi o degli artisti celebri dei nostri giorni. Essa saprà come Gounod (2) accompagnava cantandolo un tal pezzo da lui composto: come

(1) *Causeries scientifiques* del *Temps*.

(2) Ecco qui un singolare estratto di un processo verbale di una seduta dell'Accademia di Belle Arti (27 aprile 1889) (fig. 21):

« Il signor [illegible] (sperimentando il fonografo): — Demostene, Cicerone, Bossuet, perchè mai siete morti? Noi potremmo oggi sentire le vostre mirabili arringhe dalla bocca stessa che le ha pronunciate!

« Qui sorge un piccolo incidente assai piccante. La frase è essa corretta? dicono gli uni; è [illegible] dicono gli altri: sarebbe la bocca degli oratori o il cilindro di cera che ripeterebbe le arringhe? Il signor [illegible] cerca la correzione e si ferma sulla parola *di* o *dei*. Il fonografo [illegible] la correzione e l'interruzione. Una terza volta ripete: « Demostene, Cicerone, Bossuet [illegible] » ed un riso frenato fa sobbalzare le sillabe. Fedelmente il fonografo riprodusse il riso mal represso. — È una cosa perfetta, stupefacente! si esclama da ogni parte.

« Dopo il duca d'Aumale confidò alcune parole al fonografo.

Coquelin interpretava la parte di *Figaro*, come la Patti cantava la cavatina del *Barbiere*. I Mirabeau, i Gambetta nascituri saranno certi di far brillare gli splendori della loro eloquenza in tempi illimitati.

Nei Parlamenti, nelle Assemblee pubbliche, l'inscrizione fonografica dei discorsi surrogherà, con fedeltà scrupolosissima, la stenografia. Il cilindro di cera, introdotto in un secondo fonografo riprodurrà le parole che ha iscritto e che potranno essere immediatamente « combinate » dai tipografi. Il fonografo, ripetendo i suoni e le frasi più difficili da pronunziarsi si trasformerà in maestro di lingue. Si possiederanno cilindri di cera sui quali saranno stati registrati le declamazioni, il canto e i concerti istrumentali dei virtuosi celebri di tutti i paesi. Si avranno nella propria biblioteca dei fogli, avvolti in rotolo continuo, i quali altro non saranno che libri dettati dalla voce stessa degli autori.

Si fonderanno giornali-fonogrammi, e gli abbonati potranno leggere — coll'orecchio — il *Piccolo fonogramma* quotidiano, il *Fonogramma dei dibattimenti*, il *Fonogramma conservatore* o il *Fonogramma repubblicano*, a loro scelta, secondo le loro opinioni.

In fine, quando si saran fonografate le commedie, le tragedie, le opere applaudite, si potrà godere il raro piacere di avere a buon mercato, ogni qual volta lo si voglia e con tutto l'agio imaginabile il teatro in casa propria.

Fig. 33. — Riproduzione fonografica della parola « Hullo. »

Il cilindro di cera ha ricevuto il nome di *fonogramma* vale a dire: scrittura della voce. Nella sua lunghezza di 115 millimetri e col suo diametro di 50 millimetri, può agevolmente tenere registrate da 800 a 1000 parole. Si può calcolare sopra 80 a 100 parole per centimetro di lunghezza secondo la generatrice. È poi evidente che quelle cifre variano colla velocità di rotazione e la rapidità dell'eloquio individuale.

Per veder bene le traccie multiple e finissime impresse dallo stile sulla cera ci vuole una lente. Una sola parola comporta numerose sinuosità: esempio, la parola « Hullo » (fig. 33) che si potè fotografare con un ingrandimento fortissimo, dà in modo sorprendente l'idea della complicazione dei fenomeni che il fonografo traduce in fatto coll'ajuto di meccanismi relativamente semplici (1).

« E di subito l'istrumento con voce alta e breve dice una frase della *Storia dei principi di Condé*. « Cavalieri di Gassion, colla sciabola in alto e la pistola in pugno si precipitarono sul nemico ». « Pareva di udire il comando di un reggimento. »

Finalmente Gounod si avvicina alla sua volta e canta nel padiglione del portavoce « *Il pleut, il pleut, bergère* » e firma il canto. « Carlo Gounod, membro dell'Accademia delle Belle Arti, dell'Istituto di Francia. »

Ed uno dei colleghi di Gounod interpreta l'impressione generale con queste parole: « Ecco un cilindro di cera che fra un secolo varrà centomila franchi ».

(1) *La Lumière électrique*, tomo XXXII.

Codesti cilindri di cera che portano la scrittura della voce — codesti fonogrammi — si possono spedire per la posta in cassettine di legno. Si comprende senza fatica come due corrispondenti, possessori di due fonografi identici, possano scambiare *verbalmente* le loro idee. Abbiam già detto che le ripetizioni non consumano le traccie della cera e che si possono domandare ad un fonogramma migliaja di ripetizioni senza alterare i suoni.

All'Esposizione Universale del 1889, si è mostrato un rivale fortunato del fonografo. Il *grafofono* del Sumner Tainter, che ebbimo già l'occasione di ricordare in due riprese, non differisce essenzialmente

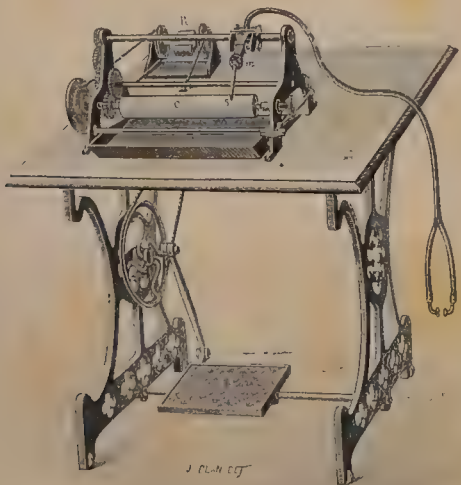



Fig. 34. — Il grafofono di Sumner Tainter.

dal fonografo Edison, ma ottiene la medesima perfezione di inscrizione e di riproduzione con disposizioni infinitamente meno complicate.

In questo ingegnoso apparecchio agevolmente maneggiabile malgrado la sua delicatezza apparente (fig. 34), vedesi sostituito al cilindro di cera del fonografo un cilindro C, leggerissimo, fatto con un foglio di cartone dello spessore di un millimetro e coperto con un sottil strato di quella cera della quale indicammo la composizione. Cartone e cera formano un tutto che è il fonogramma di questo istrumento.

Si impegna uno di quei cilindri-fonogrammi C fra due bottoni

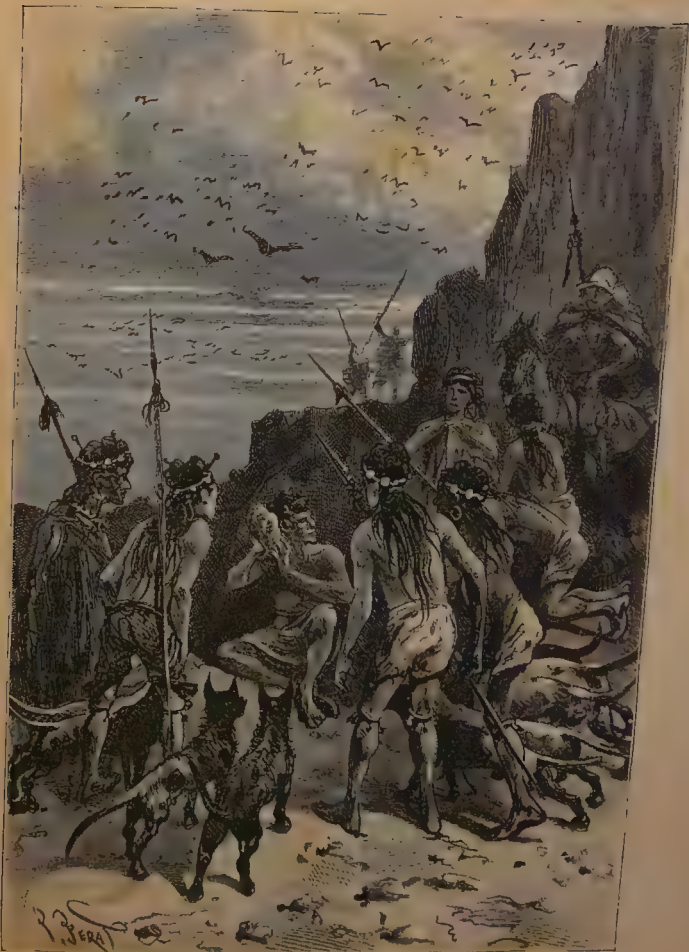



Fig. 13. — Il fonografo nel 1632

« In quel paese, riferisce il capitano Vosterloch, la natura ha fornito agli uomini certe spugne che ritengono il suono e la voce articolata. » (*Il Corriere veridico, gazzetta satirica del 1632*)

che si prospettano e che formano così le estremità di un asse ideale; è un sistema di mettere a posto il fonogramma facilissimo e molto rapido.

La voce fa vibrare una sottile lamina di mica la quale comunica le sue vibrazioni ad uno stile tagliente di acciajo, e questo stile taglia nella cera trucioli minutissimi.

La riproduzione si effettua per mezzo di un organo *S* (fig. 36), il quale consta di un'asticella vuota di ebonite (cauciù indurito) che racchiude una leggiera punta d'acciajo *a*, la qual punta d'acciajo è poi lo stile; essa appare all'estremità inferiore dell'asticella vuota ove è racchiusa in forma di amo, e si appoggia sul cilindro di cera; dall'altra parte è collegata per mezzo di un filo di seta *f f* ad un picciol disco *d* di celluloide (1) chiuso nella scatola *M*.

La punta d'acciajo per mezzo del filo di seta, trasmette al disco di celluloide i movimenti che le fanno eseguire le traccie concave o convesse che incontra sulla cera, e il disco alla sua volta trasmette quei movimenti, quelle vibrazioni, all'orecchio dell'uditore per mezzo di un tubo di cauciù a due rami.

Il movimento, durante l'inscrizione e durante la riproduzione, viene impartito al *grafofono* da un motore a pedale simile a quello delle macchine da cucire. Il piede dello sperimentatore imprime per mezzo del pedale un rapido movimento di rotazione ai due bottoni che trattengono il cilindro fonogramma *C* e lo trascinano nel loro movimento.

Fig. 36. — Apparecchio riproduttore del grafofono.

Quel movimento è reso regolare da un regolatore a palle analogo a quello delle macchine a vapore. Se la velocità prodotta è troppo grande, le due palle si allontanano e si staccano dall'organo messo in azione dal pedale. Il movimento è dunque forzato a conservare sempre la velocità necessaria. La sostituzione di un leggierissimo e momentaneo sforzo muscolare al motore elettrico può essere considerata come una notevole semplificazione trovata da Tainter.

Un cilindro grafofonico, spedito per la posta si innesta come un fonogramma sull'asse di rotazione del grafofono destinatario. Facciamo osservare che quei cilindri non costano, come i fonogrammi, che quindici centesimi e che la loro leggierezza permette di spedirli per la posta in una cassettina, al prezzo di dieci centesimi. Colla compera o il nolo di un fonografo o di un grafofono la corrispondenza costerà un po' più cara, ma dopo tutto sembra logico che il prezzo di quella meraviglia che è la « lettera parlante » debba essere superiore a quello della « lettera scritta » divenuta cosa comunissima.

Il fonografo è esso pervenuto al suo più alto grado di perfezione?

Chi meglio di Edison potrebbe rispondere a tale domanda?

(1) Il celluloide è un prodotto complesso formato da una mescolanza di cellulosa nitrica (pirossilina) e di canfora.

Ora, Edison ha risposto.

Ecco in quali termini si è espresso dinanzi al corrispondente di un grande giornale di Nuova York (1) nell'occasione della sua visita all'Esposizione Universale.

« Il fonografo, a mio avviso, ha quasi raggiunto la perfezione degli ultimi istrumenti costruiti nelle mie officine.

« Capirete benissimo che il fonografo comune usato nel commercio non si avvicina guari agli apparecchi speciali dei quali mi servo per i miei esperimenti privati.

« Con questi io posso ottenere un suono bastantemente forte per riprodurre le frasi di un discorso che un numeroso uditorio può sentire benissimo. I miei ultimi miglioramenti riflettono sopratutto i suoni aspirati che sono il punto debole del fonografo. Per sette mesi continui, ho lavorato diciotto o venti ore al giorno intorno a questa sola parola: *specia*.

« Io diceva nel fonografo: *Specia*, *specia*, *specia*, e l'istrumento mi rispondeva: *Pecia*, *pecia*, *pecia*, e non pervenivo a fargli dire altra cosa.

« Era da impazzire.

« Ma io tenni duro sino a che ci fossi riuscito, ed ora voi potete leggere mille parole di un giornale in un fonografo, colla velocità di 150 parole per minuto, e l'istrumento ve le ripeterà senza ometterne una sola.

« Voi potrete rendervi ragione della difficoltà del compito che mi ero imposto e che condussi a buon fine, quando vi dirò che le impressioni fatte sul cilindro quando l'aspirazione di *specia* è prodotta, non hanno più di un millionesimo di pollice di profondità e sono affatto invisibili anche col microscopio.

« Ciò vi darà un'idea del mio modo di lavorare.

« Io non son punto un *teorico*, e non mi atteggio a *scienziato*. I teorici e gli scienziati ottengono grandi successi spiegando con linguaggio forbito ciò che gli altri hanno fatto. Ma tutte le loro cognizioni di formole messe assieme non hanno dato al mondo più di due o tre invenzioni di qualche valore. È cosa facilissima inventare cose sorprendenti, *ma la difficoltà consiste nel perfezionarle quanto occorre perchè abbiano un valore commerciale*. Ed è di ciò che io mi occupo. »

Secondo questo colloquio — che si conclude con una professione di fede nord-americana e niente affatto idealista — si può considerare il fonografo come un istrumento che ha detto la sua ultima parola, o meglio ancora, come un istrumento omai pronto a dire ed a ripetere molte parole!

Nell'esordio di questo capitolo dedicato al fonografo abbiamo ricordato il pensiero di Pascal: „ L'imaginazione si stancherà più presto di concepire che la Natura di fornire. " Ora, l'intelligenza umana aveva concepito già da gran tempo codesta idea di conservare e di riprodurre la parola che la scienza ci permette oggidì di mettere in opera. Infatti noi troviamo in una gazzetta satirica del 1632, *Il Corriere veridico*, le linee seguenti: „ Il capitano Vosterloch è di ritorno dal suo viaggio nelle terre austiali, viaggio che intraprese per ordine degli Stati d'Olanda, or sono due anni e mezzo. Egli tra le altre cose ci narra, che essendo passato per uno stretto al disotto di quello di Magellano, prese terra in un paese ove la natura ha fornito agli uomini certe spugne che ritengono il suono e la voce articolata, come le nostre spugne i liquidi. Di maniera che, quando vogliono far sapere qualche cosa o conferire da lontano, non hanno da far altro che parlare vicino ad una di quelle spugne, poi spedirle ai loro amici o

(1) *New-York Herald*, 15 agosto 1889.

conoscenti, che, avendole ricevute, le premono lievemente, ne fanno uscire tutte le parole che vi son dentro e vengono a sapere con questo mirabile mezzo tutto quello che i loro amici desiderano che sappiano (1).

Il gazzettiere del 1632 presentava quell'idea come una facezia altrettanto prodigiosa che inverisimile — e in capo a 257 anni il fonografo ne ha fatto una realtà!

(1) Biblioteca nazionale, *Il Corriere veridico*, aprile 1632. La Biblioteca nazionale possiede due soli numeri di quella gazzetta, aprile e novembre 1632.

Fig. 38. — Nel 1650 il corriere impiegava quindici giorni (350 ore) per portare le notizie da Parigi a Marsiglia.

CAPITOLO II.

IL TELEFONO.

« Allô! Allô!... (1) Sei tu là, caro amico? » — « Sì, sono qua, ed ho subito riconosciuto la tua voce. » — « Io pure riconosco la tua, e se non fossi certo che in questo momento tu sei a Marsiglia, come io sono a Parigi, giurerei che tu mi parli dalla stanza vicina. » — « Proprio l'identico senso che desta a me il sentire le tue parole. Che stupenda invenzione, oh! » — « Stupenda, ma incompleta, poichè non ti vedo. » — « Eh via! tu domandi un po' troppo. Ma se brami vedermi, perchè non vieni a Marsiglia? abbiamo in questa mattina di dicembre un sole splendidissimo. » — « A Parigi, questa mane, il termometro segna dieci gradi sotto zero ed io verrei volontieri a scaldarmi laggiù, ma è sì

---

(1) La voce *Allô* viene dal verbo inglese *Hallo*, gridare, chiamare, che altravolta significava, come il vecchio vocabolo francese *Haler*, gridare alla caccia, eccitare i cani con grida. In Inghilterra e negli Stati Uniti si usa la voce *Hallo*, grido che si adopera in quei due paesi per attirare l'attenzione di qualche persona; corrisponde all'italiano *Olà*. La parola si scrive spesso *Halloo* ed anche *Holloa*, ma in questi ultimi tempi si prese l'abitudine di scriverla secondo la pronuncia, *Hallo*. Codeste divergenze sono frequentissime nell'ortografia inglese.

lontano! duecento e più leghe! Quindici ore di strada ferrata per andare ed altrettante per ritornare!... Forse che ne ho il tempo? »

E frattanto quel parigino che non aveva tempo di andar a trovare il suo amico a Marsiglia, conversava pacificamente con lui, la sua voce percorreva in un attimo gli ottocentosessantatrè chilometri che la sua persona, col convoglio più rapido, non avrebbe potuto percorrere in meno di quattordici ore e diciannove minuti.

Fig. 39. — Telefono da Parigi a Marsiglia. Stanzino telefonico alla Borsa di Parigi

Come ciò era possibile?

L'interlocutore parigino aveva salito lo scalone della Borsa, era entrato in un ufficio negli ammezzati, ed essendosi rivolto ad un impiegato che stava dietro un finestrino, aveva declinato il nome dell'amico, che, avvisato, doveva all'ora stessa trovarsi all'ufficio della Borsa di Marsiglia. L'impiegato, dopo essersi assicurato, con un mezzo ancora misterioso per noi, che la persona domandata era presente all'ufficio di Marsiglia, staccò, dopo incassata la somma di 1 fr. 50, uno scontrino che dava diritto ad una comunicazione di cinque minuti (1).

(1) Un avviso informa il pubblico che non si può conversare più di dieci minuti quando altre persone aspettano il loro turno.

Il parigino entrò allora in un salone nel quale eran tagliati fuori sei stanzini sulle porte dei quali lesse: « Lione o Marsiglia, » « Rouen » « Le Havre, » « Reims, » « Lilla, » « Bruselle. »

Egli aprì l'uscio « Lione Marsiglia » e si trovò in uno stanzino stretto, tappezzato di stoffa, illuminato da una lampada elettrica. Dai ganci sui quali erano appesi ritirò due specie di imbuti, li portò alle orecchie, appoggiò le braccia su due mensole a tal uopo predisposte ed

Fig. 10. — Telefono da Marsiglia a Parigi. Stanzino telefonico alla Borsa di Marsiglia.

incominciò la sua conversazione parlando ad un'assicella di legno situata all'altezza del suo viso, assicella che per lui rappresentava in quell'istante soggettivamente l'amico di Marsiglia. Per la via degli imbuti arrivavano immediatamente al suo orecchio le parole dell'amico, le risposte alle domande che gli faceva.

L'apparecchio che permetteva a quei due amici, sì lontani uno dall'altro, di conversare come se fossero vicini, è il *telefono* (1).

---

(1) L'album di statistica grafica del Ministero dei Lavori Pubblici (Stamperia nazionale, 1889) presenta progetti comparativi sulla durata delle comunicazioni fra città lontane in diverse epoche.

Nel secolo decimosettimo, anno 1650, ci volevano 15 giorni (359 ore) al corriere incomben-

La conversazione per Telefono, anche a distanze quale è quella fra Parigi e Marsiglia, è ormai entrata nella consuetudine del pubblico francese. I giornali non hanno forse riferito ultimamente che la Società scientifica Flammarion di Marsiglia, avendo tenuto assemblea generale, il 23 gennajo 1890, a proposito dell'adozione dell'ora nazionale del meridiano di Parigi in tutta la Francia, Camillo Flammarion ha pronunciato un discorso col Telefono da Parigi a Marsiglia?

Indaghiamo per qual seguito di idee, per quali imaginazioni successive, gli uomini sono passati per arrivare a quella prodigiosa scoperta che, allo stato di embrione, sarebbe stata dichiarata ad unanimità impossibile ed irragionevole e che, tradotta in fatto, sembra già una cosa semplicissima alla nostra « fine di secolo. »

È lungo, lunghissimo tempo che gli uomini dovettero riconoscere che la portata ordinaria della voce era insufficiente ai loro bisogni.

La portata della voce e di un suono qualunque è la distanza massima alla quale l'orecchio può percepirla.

La voce non è altro che una serie di vibrazioni più o meno numerose, più o meno rapide delle corde vocali.

Nella formazione della voce la laringe agisce nella maniera stessa di un istrumento ad ancia, un oboe, per esempio, od un clarino; la corrente d'aria che viene dai polmoni devia le corde vocali; quelle corde, una specie di labbra elastiche, ritornano su sè stesse ed interrompono momentaneamente il passaggio dell'aria che, ben presto, le devia di nuovo e produce così movimenti alternativi, vibrazioni. Quelle vibrazioni vanno a comunicarsi all'aria ambiente e, secondo che saranno state più o meno energiche, si propagheranno nell'aria più o meno lontano, avranno una portata più o meno grande.

Ma come mai quelle vibrazioni si propagano nell'aria?

Diciamo, prima di tutto, che tutti i corpi non sono atti a produrre ed a trasmettere il suono, in una parola, che tutti non sono « sonori. »

Un corpo è sonoro quando le sue molecole (1) deviate, sturbate da una causa qualunque, da un urto, dalla loro posizione di equilibrio o posizione di riposo, ritornano a quella posizione.

Le molecole di un corpo, masse incomparabilmente più piccole di quelle dei più fini granelli di polvere veduti sotto il microscopio, sono separate le une dalle altre da spazii o pori, nei quali hanno la possibilità di muoversi.

Il modo di collegamento delle molecole è vario; nei solidi difficilmente si lasciano separare, esse sono legate da ciò che si chiama la forza di coesione, nei liquidi scorrono le une sulle altre, nei gaz, si respingono.

Uno sforzo esercitato sopra un corpo deforma quel corpo, vale a dire ne avvicina o ne allontana le molecole. Nel primo caso le molecole ravvicinate occupano uno spazio più piccolo di quello che occupavano

---

zato di portare a Marsiglia le notizie di Parigi (fig. 98); nel 1782 il viaggio in diligenza si effettuava in 17 giorni (408 ore); nel 1793, la Convenzione organizzò il servizio delle Malle-Poste, che doveva partire tutti i giorni di Parigi, viaggiare giorno e notte, e fare secondo il regolamento in media due leghe all'ora; la durata del tragitto era tuttavia di 4 giorni e mezzo (108 ore); finalmente nel 1840, all'esordire delle strade ferrate, le berline postali pervennero a viaggiare colla velocità di tre a quattro leghe all'ora.

(1) *Molecola*, diminutivo della voce latina *moles*, piccola massa, piccola particella di materia.

Fig. 41. — Catastrofe del ponte di ferro della Basse-Chaine, ad Angers (16 aprile 1850).

prima dello sforzo; esse sono in uno stato di compressione o di condensazione. Nel secondo caso, le molecole essendosi scostate, occupano uno spazio più grande e sono in uno stato di dilatazione o di rarefazione.

I corpi le cui molecole ritornano alla loro posizione primitiva si chiamano corpi elastici. Essi sono tanto più elastici quanto maggiore è la deformazione che possono subire senza cessare di riprendere la loro forma primitiva appena sono resi a loro medesimi.

L'elasticità (1) è dunque la condizione essenziale della sonorità, poichè è dessa che permette le vibrazioni delle molecole, vibrazioni che generano il suono.

Fig. 42. Prova dell'[illegible] dell'aria.

Oltre a ciò, perchè la sonorità di un corpo si manifesti è mestieri che la sua elasticità non sia nè troppo grande, nè troppo piccola. Così, per esempio, una campana di cauciù non sarebbe sonora, attesochè le sue molecole ritornano troppo rapidamente alla loro posizione di equilibrio. Si potrebbe passare per una sequela non interrotta dal corpo più molle al corpo più elastico, dall'argilla umida alla gomma elastica. Gli è a quelle due estremità della sequela che si incontrano i corpi meno sonori. La sonorità massima si trova nel gruppo intermedio, e, di più, in quel gruppo bisogna includere l'aria, i gas, benchè per la loro stessa costituzione elasticissimi.

L'elasticità dell'aria si prova per mezzo di un esperimento semplicissimo. In un tubo di vetro molto grosso AA (fig. 42) ermeticamente chiuso ad una estremità, si introduce dall'estremità aperta un embolo guernito di cuojo. Premendo sull'asta di quell'embolo si risente una resistenza che cresce a misura che lo stantuffo discende.

Poi, ritirando la mano, si vede risalire lo stantuffo.

L'aria è dunque elastica, poichè, essendo stata compressa, potè ripigliare la sua posizione primiera, il suo volume primitivo. Lo stantuffo risalendo da solo verso l'orifizio del tubo è l'indizio certo di codesta elasticità.

Le molecole di un corpo elastico smosse dalla loro posizione d'equilibrio non ritornano immediatamente a quella posizione; esse eseguiscono da una parte e dall'altra una serie di movimenti alternativi che noi abbiamo già imparato ad inscrivere sopra un vetro affumicato o sui cilindri di cera del fonografo. Se non si mantiene l'urto iniziale che tolse quelle molecole dalla posizione di riposo, l'ampiezza della corsa di ciascuna di esse va progressivamente diminuendo e ben presto si riduce a nulla.

Per ben comprendere il movimento di quelle molecole, accompagniamone una nella sua corsa.

Distolta dalla sua posizione di equilibrio P (fig. 43), portata in A, quella molecola tende a ritornare in P, e vi ritorna difatti; con una

(1) *Elasticità*, dal greco [illegible]: che spinge, che muove

velocità prima debole, poi crescente. Grazie a quella velocità la molecola, in luogo di arrestarsi nella posizione di equilibrio, oltrepassa la sua meta in virtù del principio dell'*inerzia*, che è il seguente: « un corpo da sè medesimo nulla può cangiare al suo stato di riposo, nè al suo stato di moto. » In altre parole, la molecola non ha il potere di arrestarsi da sè medesima, come non ha quello di mettersi da sè medesima in movimento.

La molecola M continua dunque la sua corsa sino in B, si ferma e ritorna alla sua posizione di equilibrio P, che la velocità acquistata le fa nuovamente oltrepassare, e continua questa oscillazione, analoga a quella di un pendolo o bilanciere, sino a che, essendosi la sua velocità esaurita nei suoi attriti e nella trasmissione di una parte del suo moto alle molecole vicine, alla fine si arresta e trova la posizione del suo equilibrio naturale P.

Se per converso si mantiene l'urto iniziale, se lo si ripete, se lo si

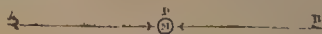



Fig. 13. — Tragitto di una molecola in vibrazione

continua, si perviene a dare alle vibrazioni delle molecole un'ampiezza tale che la coesione è vinta e il corpo si spezza.

Un'asta metallica si allunga, tanto vibrando, quanto sotto una trazione di parecchie migliaja di chilogrammi, e l'allungamento può andare sino alla rottura.

L'esperimento si fa agevolmente con un'asta di cristallo che, strofinata nel senso della sua lunghezza, per esempio con un pezzo di stoffa imbevuta di acqua acidulata, si spezza in un gran numero di frammenti con rotture perpendicolari all'asse (fig. 14). « Non si dovrebbe mai scordare, dice Violle, che un debole sforzo ripetuto (ed opportunamente cadenzato) può provocare deformazioni che una forza incomparabilmente superiore applicata una sola volta non arriverebbe a produrre. »

In luogo di eccitare le vibrazioni per strofinamento, si può eccitarle con colpi ripetuti.

Le gomene di ferro di un ponte sospeso, ricevono, sotto il passaggio di un battaglione che marci al passo, urti successivi, cadenzati, periodici, e lo sforzo di tensione così ripetuto finisce col produrre nelle gomene deformazioni tali che si spezzano (1).

(1) La memoria della catastrofe del ponte di ferro della Basse-Chaîne ad Angers, avvenuta il 16 aprile 1850, rimane viva in molti animi ancora. Noi troviamo la narrazione di quell'avvenimento nel *Journal de Maine-et-Loire*, in data del 17 aprile 1850:

« Ieri, 16 aprile, il 1° squadrone del 3° ussari aveva fatto il suo ingresso nella città di Angers a undici ore, passando sul ponte sospeso di fili di ferro, della Basse Chaîne; mezz'ora dopo la testa di colonna del 1° battaglione dell'11° leggero si presentava sulla riva destra per attraversare il ponte. Il vento di ponente, che soffiava da parecchi giorni, prese in quel momento una violenza straordinaria, che una pioggia torrenziale non valeva a diminuire. Il battaglione marciava allora per mezze sezioni di dodici uomini di fronte, ed ogni sezione progrediva sul ponte, incomodata come era dalla burrasca, obbediva — fosse o non ne fosse stato impartito l'ordine — ad un movimento irresistibile d'accelerazione di passo cadenzato.

« Il ponte soffriva ad ogni istante oscillazioni tali che molti uomini ebbero a notarle e per conseguenza accelerarono ancor più la loro marcia.

« Frattanto gli zappatori, i tamburi e la metà della musica avevano toccato il suolo della sponda sinistra, allorchè uno scricchiolio terribile [illegible] si fa sentire a tutti i cuori.

Rammentiamo che la durata del passaggio da A in B e del ritorno da B in A è il *periodo* della vibrazione; un bilanciere che batte i secondi impiega un secondo per andare ed un secondo per ritornare, il suo periodo è dunque di due secondi.

Fig. 41. — Asta di cristallo spezzata da vibrazioni di grande ampiezza

La molecola M vibrando ha trasmesso una parte della sua vibrazione alle molecole vicine le quali, mettendosi in movimento, hanno fatto vibrare a loro volta le molecole seguenti.

Qual è il meccanismo di questa propagazione delle vibrazioni? Per comprenderlo ci è mestieri studiare da prima come si propagano le vibrazioni alla superficie dell'acqua.

Si chiamano onde (dalla radice sanscritta *und*, sgorgare, inaffiare) i movimenti che agitano ed increspano la superficie delle acque. Per giungere a conoscere tali movimenti osserviamo uno specchio d'acqua immobile, durante una giornata calma e senza brezza. Lasciamo cadere in un punto O del suo livello un sassolino, una goccia d'acqua, un oggetto di piccolo volume. Si vedranno subito formarsi increspature circolari e mobili, delle quali il luogo della caduta è il centro. Queste sono onde circolari.

Si può rendersi ragione di questo fenomeno, dice Lamé (1), notando che le molecole d'acqua subitamente abbassate (dall'oggetto che cade) al centro della scossa, vibrano, *verticalmente* prima di tornare in riposo; quel movimento vibratorio si comunica successivamente con una certa velocità di propagazione, la medesima in tutte le direzioni. Se si può fare

« Il tavolato del ponte si avvallò sulla destra; poi, per un violento movimento di oscillazione, si voltò sulla sinistra e si sprofondò nelle acque.

« Si rialzò coperto da infelici che erano precipitati con esso; ridiscese per risalire di nuovo, ed ogni volta, si vedeva diminuire il numero dei soldati che disperatamente vi si aggrappavano.

« 219 uomini, dei quali 5 ufficiali, trovarono la morte in quella catastrofe, e ben pochi furono ritirati sani e salvi, poichè le sciabole e le bajonette, in quella spaventevole conflagrazione, cagionavano orribili ferite (fig. 41). »

Il ponte sospeso della Basse-Chaîne contava dodici anni di esistenza ed era stato poco tempo prima oggetto di una riparazione che era costata 30,000 franchi alla cassa municipale. Non aveva che una travata lunga 180 metri, e le gomene di sospensione erano portate da colonne di ghisa.

La caduta del ponte ebbe luogo in conseguenza della rottura delle gomene nei pozzi di attacco della spalla della ripa destra. La gomena del pozzo a monte si ruppe a pochi metri dalla piastra d'attacco che tratteneva l'ormeggio dei diversi cavi di ferro. La gomena del pozzo a valle si ruppe anch'essa, ma solo in parte.

1 *Teoria matematica della elasticità dei corpi solidi*, per Gabriele Lamé, geometra francese, nato nel 1795, morto nel 1870, membro dell'Istituto, professore alla Scuola politecnica ed alla Facoltà delle scienze.

in modo che il punto O non faccia che una vibrazione, si avrà una sola increspatura circolare che si propagherà ingrandendosi di raggio e dileguandosi per effetto della diminuzione progressiva della sua altezza, vale a dire dell'ampiezza della vibrazione.

L'onda isolata non è guari il caso della natura. In generale, dalla caduta di un picciol corpo pesante risultano al centro della scossa più vibrazioni decrescenti, e per conseguenza parecchie crespe od onde

Fig. 15. — Le onde liquide circolari, onde in rilievo, onde incavate.

circolari che si propagano le une dopo le altre. Se si mantiene il centro della scossa in uno stato permanente di vibrazione lasciando cadere in quel punto da un robinetto opportunamente regolato, una serie di goccie d'acqua eguali succedentisi ad intervalli regolari, la superficie tutta intera dello specchio d'acqua sarà solcata d'onde circolari. Durante la metà del tempo che impiega una goccia a sostituirsi alla precedente, una increspatura, come sarebbe A, viene formata da un sollevamento dell'acqua in quel punto.

Nell'intervallo di tempo eguale che segue, regna in A una depressione della medesima forma della increspatura già contemplata e profonda tanto quanto quella era rilevata. Il liquido si solleva, per discendere poi nella stessa maniera, e ciò perdura sino a che si mantiene la vibrazione al centro di scossa.

Un'onda in rilievo A e l'onda concava consecutiva B (fig. 45) sono comprese fra due circonferenze $m\,m$, $n\,n$, i cui raggi $o\,m$ ed $o\,n$ differiscono della lunghezza $m\,n$; questa lunghezza, indipendente dall'onda A presa in esame, si dice « la lunghezza d'onda » del movimento superficiale che dondola periodicamente per corone circolari la superficie dell'acqua. Quella lunghezza diminuisce quando le goccie che cadono in O si succedono con maggiore frequenza. D'altra parte le increspature riescono tanto più spiccate, tanto più intense, quanto maggiore è la scossa in O, vale a dire, per esempio, quanto più grosse sono le goccie d'acqua che la determinano colla loro caduta.

Ed ora c'è forse bisogno di insistere sul punto che le molecole d'acqua agitate in O non sono spostate, non sono trasportate verso la sponda?

Una osservazione ben semplice lo dimostra. Un corpo galleggiante, quale che sia, una festuca di paglia, se si vuole, partecipa a tutti i movimenti del liquido nel quale si affonda parzialmente; se il liquido fosse trascinato, altrettanto succederebbe al galleggiante; ora l'esperienza dimostra che il galleggiante rimane al suo posto, e che si accontenta di alzarsi e di abbassarsi al punto ove si trova. Esso accusa dunque il passaggio delle onde, indica colla sua ascesa che sotto di esso si forma una increspatura convessa, e colla sua discesa che è giunto il momento nel quale l'increspatura in rialzo viene surrogata da una concava.

Il movimento del piccolo galleggiante dimostra molto bene che le molecole si spostano *verticalmente*, vale a dire perpendicolarmente al livello dell'acqua sul quale si propagano le onde. Questa specie di vibrazioni son dette trasversali. Una molecola, come sarebbe n, si sposta per sollevarsi verso b od abbassarsi verso c, mentre il movimento si propaga nella direzione $O\,B$ (fig. 45).

Una corda che fosse tesa secondo $O\,B$ ed alla quale si facesse mandare un suono conveniente, prenderebbe assolutamente la medesima forma che assume la superficie dell'acqua in quella direzione. Essa si suddividerebbe in porzioni consecutive eguali dotate di un movimento contrario, e ciascuna porzione si solleverebbe e si abbasserebbe successivamente rispetto alla posizione $O\,B$ assunta dalla corda tesa quando è in riposo (fig. 45).

Questa comunicazione successiva di un movimento — senza trasporto della materia — è un fatto di importanza capitale.

Noi non sapremmo presentarne una prova più chiara di quella data da Huygens. Le esperienze, che consentirono al celebre fisico dell'Aja di fondare la sua bella teoría della luce, ci saranno utilissimi negli ulteriori capitoli.

Quegli esperimenti fanno comprendere come la natura proceda per propagare un movimento qualunque attraverso a' suoi mezzi sì svariati — visibili ed invisibili — e per condurre la sensazione ai nostri diversi organi.

Cristiano Huygens (1), nel suo *Trattato della luce*, scritto in francese e pubblicato nel 1690, così si esprime:

« Ci è d'uopo spiegare come i corpi duri trasmettono il moto gli uni agli altri. Quando si prende un certo numero di palle di eguale grossezza (fig. 46) formate di qualche materia molto dura e le si dispongono in linea retta in guisa che si tocchino, si trova che battendo con una palla simile, D, la prima di quelle palle, il movimento passa istantaneamente sino all'ultima A_1, la quale si stacca dalla fila e va in A_2, senza che si scorga che le altre si siano mosse. In pari tempo quella che ha colpito rimane immobile con esse in D_2. È questo un esempio di passaggio d'un movimento con una velocità estrema, velocità che è tanto maggiore quanto più dura è la materia di cui son formate le palle.

« Questo movimento è successivo, e perciò gli è mestieri di tempo

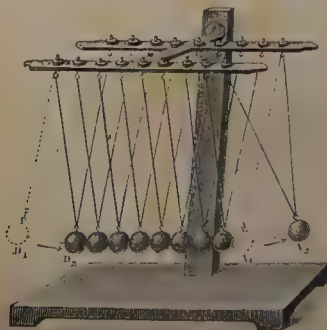



Fig. 46. — Esperimento della trasmissione rettilinea del moto.

per trasmettersi, attesochè se il movimento o, se si vuole, l'*inclinazione al movimento* (2) non passasse successivamente per tutte le palle esse lo acquisterebbero tutte nel medesimo tempo e quindi progredirebbero tutte insieme, il che non succede; ma l'ultima abbandona tutta la fila ed acquista la velocità di quella che subì la spinta.

« Tutti i corpi che noi annoveriamo tra i più duri, l'acciajo temperato, il vetro, l'agata, formano molla e si piegano in qualche modo, non solo quando sono stesi in verghe, ma eziandio quando sono in forma di palla od altrimenti (senza proferire la parola *elasticità*, si vede bene che Huygens accenna qui a quella proprietà dei corpi, la

(1) Fisico, geometra ed astronomo olandese, nato all'Aja nel 1629, morto nel 1695; chiamato in Francia da Colbert nel 1665, ricevette una pensione e l'alloggio alla Biblioteca reale; lasciò la Francia all'epoca della revoca dell'editto di Nantes.

(2) L'espressione di Huygens « l'inclinazione al movimento » sembra essere l'equivalente della parola *elasticità* che non apparve nella nostra lingua prima del XVIII secolo.

causa della quale del resto sfuggiva a lui come sfugge tuttora a noi), vale a dire che essi rientrano qualche poco in sè stessi nel punto ove sono colpiti e che si rimettono di subito nella loro prima figura. Poichè io ho trovato (fig. 48) che battendo una palla di vetro contro un pezzo della stessa materia, grosso e che aveva la superficie piatta e tanto quanto appannata col fiato od altrimenti, restavano su di esso impronte rotonde, più o meno grandi, secondo che il colpo era stato forte o debole. Il che fa vedere che quelle materie cedono al loro incontro e si ripristinano; nel che fare impiegano un certo tempo. »

La disposizione rettilinea non è necessaria.

« In fatti, se una palla A ne tocca parecchie altre $C_1C_1C_1$ (fig. 47) e se essa è colpita da un'altra palla B_1, in guisa che faccia impressione su tutte le palle C_1 che tocca, essa imprime a quelle tutto il proprio movimento per portarle in $C_2C_2C_2$, e dopo ciò rimane immobile come pure B_1 che si ferma in B_2. »

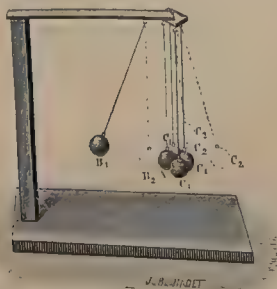



Fig. 47. — Trasmissione del moto in tutti i sensi.

Noteremo tuttavia che B_1 rimbalzerebbe, vale a dire che una porzione del moto sarebbe riflessa, se la palla B_1 fosse di dimensioni minori delle altre.

« Aggiungeremo che parecchi movimenti provenienti da diverse parti, ed anche dalla parte opposta, possono agitare una molecola, non solo se essa è spinta da colpi che si seguono molto da vicino, ma anche da quelli che agiscono sovr'essa nel medesimo istante, e ciò a cagione del movimento che successivamente si estende, cosa che si può provare colla fila di palle eguali, di materia dura, di cui si è parlato precedentemente. Se si spingono contro di essa nello stesso tempo da due parti opposte palle eguali, si vedrà ribalzare ciascuna colla medesima velocità che aveva andando, e tutta la fila rimane al suo posto, sebbene il moto sia passato lungo tutta la fila stessa e per due volte. »

Questo esempio mostra come possa darsi che i piccoli movimenti si incontrino, si incrocino senza molestarsi reciprocamente, come abbiamo affermato nel capitolo precedente.

« E se quei moti contrarii vengono ad incontrarsi sopra una palla,

questa deve piegarsi e formare molla da due parti e così servire nel medesimo istante a trasmettere i due movimenti. »

I medesimi esperimenti possono agevolmente ripetersi sostituendo la fila di palle con una sbarra. La figura 49 rappresenta il fenomeno al quale dà origine l'urto simultaneo di due palle *A B* contro l'estremità della sbarra. Le due palle scambiano i loro movimenti e ritornano indietro.

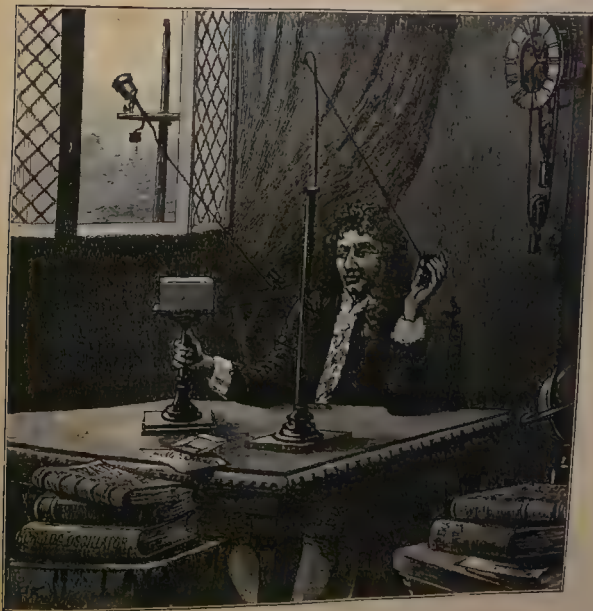



Fig. 18. — Cristiano Huygens che osserva l' « inclinazione al movimento » o elasticità dei corpi.

Fu già detto che un corpo deformato non ritorna immediatamente alla sua primitiva figura, ma che vi arriva dopo aver oscillato da una parte e dall'altra. Codeste vibrazioni che l'elasticità rende possibili sono la causa del suono. Quei movimenti possono essere mandati da un punto all'altro attraverso un mezzo, il quale fa l'ufficio della sbarra che permette alle palle *A B* di scambiare i loro movimenti senza che essa prenda uno spostamento visibile.

« Noi sappiamo, dice Huygens, che per mezzo dell'aria il suono si

espande tutto all'intorno del luogo ove fu prodotto con un movimento che passa successivamente da una parte dell'aria ad un'altra (senza trasportare ogni molecola d'aria in altro punto tranne che nella breve lunghezza ove vibra) e che l'estensione di quel movimento, avvenendo da tutte le parti con eguale velocità, devono formarsi certe superficie sferiche (ove l'aria si condensa e si rarefà alternativamente) che si allargano sempre e vengono a colpire il nostro orecchio. Io chiamo quelle superficie onde sferiche a cagione della loro somiglianza con quelle che si vedono formarsi nell'acqua quando vi si getta una pietra. '

« Si può capire abbastanza bene ciò che avviene in riguardo al suono, quando si considera che l'aria è di tale natura che può essere compressa e ridotta ad occupare uno spazio assai minore di quello che occupa solitamente, e che a misura che viene compressa fa uno sforzo per rimettersi in largo. Di maniera che la causa dell'estendersi delle onde sonore risiede nello sforzo che fanno le molecole d'aria che si

Fig. 49. — Urto simultaneo, scambio di movimenti.

urtano per rimettersi in largo, quando esse sono un po' più stipate nel circuito di quelle onde che altrove. »

Ma qui i movimenti delle molecole d'aria si producono nello stesso senso della propagazione, il che si indica dicendo che le vibrazioni nell'aria sono *longitudinali*.

Perciò, nel modo stesso che intorno ad un centro di scossa permanente di una superficie liquida noi vediamo una serie di increspature circolari a posto fisso, ma alternativamente gonfie verso l'esterno e affondate verso il fondo, così noi dobbiamo rappresentarci l'aria intorno ad un piccolo campanello vibrante o (fig. 50) nel seguente modo: sino ad una certa distanza om dal campanello tutta l'aria chiusa nella sfera di raggio om è, per esempio, in uno stato di compressione o di condensazione, fra le sfere di raggi om ed on essa è in uno stato di dilatazione o rarefazione, fra le sfere on ed op in uno stato di condensazione e così di seguito alternativamente. Questo stato perdura la metà del tempo impiegato dal campanello nel fare una vibrazione completa, l'altra metà corrisponde ad uno stato inverso, là ove c'era condensazione dell'aria havvi in seguito rarefazione ed inversamente.

La compressione nella sfera om, compressione che è l'origine di tutto ciò che succede di poi, si produce intanto che le molecole del campanello, avanzandosi verso l'esterno, colpiscono l'aria. Mentre le molecole

del campanello ritornano verso l'interno, si stabilisce la rarefazione, attesochè allora è offerto all'aria che circonda il campanello sferico uno spazio più grande.

La lunghezza *m p*, che abbraccia uno strato dilatato *m n* ed uno strato condensato *n p*, è la lunghezza dell'onda del suono generato dal campanello. Questa lunghezza, che è lo spessore d'aria attraversato dal suono durante una vibrazione del campanello, è evidentemente tanto più corta quanto più breve è la durata di quella vibrazione, vale a dire quanto più acuto è il suono (1).

Le onde condensate vanno a comprimere l'aria che si trova nel condotto uditivo; le onde dilatate rarefanno, diminuiscono a loro volta la quantità di quell'aria: di maniera che il timpano respinto (dall'onda condensata), poi attratto (dall'onda dilatata), risente la vibrazione completa.

Ecco come si propaga il suono dal corpo sonoro all'orecchio.

Le vibrazioni non solo possono agitare le membrane del timpano, dei fonografi, spostarle di alcuni micron (il micron è mille volte più piccolo del millimetro) ma anche far movere piccole macchine e utensili. L'aria in vibrazione è dunque capace di lavorare e si presenta al fisico come una sorgente di energia al medesimo titolo, ma ad un grado minore, del vento che spinge la vela delle navi o le ali dei molini, o la caduta d'acqua che anima il movimento di macchine poderose.

Fig. 50 — Propagazione delle vibrazioni nell'aria.

Sino a questi giorni rarissimi sono coloro che si preoccuparono di usufruire l'energia delle vibrazioni sonore; tuttavia si ebbe a notare all'Esposizione Universale del 1889 un apparecchio cui Edison diede il nome di MOTOFONO (2).

Il *Motofono* (fig. 51) può usufruire tutte le onde sonore. Parlando, o cantando, o suonando un istrumento dinanzi all'imboccatura *E*, le vibrazioni sonore colpiscono un disco di mica incastonato nell'anello *A*. Su quel disco di mica è fissato un picciol braccio metallico orizzontale la cui estremità curvata insiste sopra un cilindro dentato. Le vibrazioni del suono spostano il disco di mica, mettono in movimento il piccolo braccio metallico che a sua volta fa girare il cilindro dentato, e per conseguenza il volano *R* calettato sull'asse medesimo. Codesto movimento — trasmesso da una cigna *S* che passa sopra un tamburo situato sul medesimo asse dietro il volano *R* — può essere comunicato ad un piccolo utensile, per esempio un trapano od una sega.

---

(1) Spesso si caratterizza un suono colla sua lunghezza d'onda nell'aria. Calcoliamo quale è la lunghezza d'onda della nota la_3, sapendo che questa nota proviene da 435 vibrazioni per secondo e che la velocità di propagazione del suono nell'aria è di 340 metri per secondo. Poichè 435 vibrazioni durano un minuto secondo, una vibrazione durerà solo la 435ª parte di un secondo, e siccome il suono percorre 340 metri per secondo durante una vibrazione percorrerà una distanza 435 volte più piccola, vale a dire eguale a $\frac{340}{435} = 0,781$: la lunghezza d'onda della nota la_3 è dunque di 78 centimetri.

Un calcolo analogo ci dimostra che la lunghezza d'onda del suono più grave (16 vibrazioni per secondo) è di 21 metri e 25 centimetri, e che la lunghezza d'onda del suono più acuto (38 000 vibrazioni per secondo) non è che di 8 millimetri.

(2) *Motofono*: dal latino *movere* e dal greco φωνή (voce, suono); motore per mezzo del suono.

Nel nostro disegno, che raffigura il *Motofono* esposto nella Galleria delle macchine, le vibrazioni servono a far girare un disco tricolore *D* con una velocità grande quanto basta perchè non sia possibile di avere la sensazione successiva dei tre colori.

S'intende che questo è un semplice saggio ed il problema è appena proposto; ma, senza dubbio, verrà un giorno nel quale le onde sonore, la cui armonia ci diletta, forniranno in pari tempo lavoro alle nostre macchine (1).

Fig. 31. — Motofono.

(1) L'apparecchio di Edison era accompagnato all'Esposizione dall'indicazione seguente: « *Motofono o Motore vocale*: questo apparecchio dimostra che le ondulazioni (vibrazioni) del suono possedono un effetto dinamico notevole. Quando si parla sul diaframma di mica, il disco tricolore gira. Edison ha costrutto piccoli trapani e piccole seghe che agiscono per effetto delle ondulazioni del suono; dunque è possibile di forare e di tagliare una tavola colla parola. »

Un altro preteso *Motore col suono* destò grande rumore agli Stati Uniti nel 1887-1888. L'inventore era il signor Keely di Filadelfia.

Il valore delle miniere d'oro ebbe subito un rialzo. Miniere da lungo tempo abbandonate per cagione delle spese di mano d'opera, ripigliarono posto sul listino della Borsa delle grandi città americane. La speculazione si impadronì di tutte le azioni minerarie. Che cosa era avvenuto? Un gruppo di capitalisti aveva assistito in un certo laboratorio di Filadelfia all'esperimento della disintegrazione del quarzo con un metodo nuovo. « L'inventore, dice Harte (*Le Lotus*, n° 18), si era [illegible] di mettere alcuni pezzi di quarzo a contatto di una piccola macchina che teneva in mano, ed ogni pezzo toccato cadeva istantaneamente in polvere impalpabile, in mezzo alla quale i pezzi d'oro apparivano come i ciottoli su una spiaggia. « Signor Keely, dissero gli astanti, se voi potete disintegrare nel modo stesso il quarzo nel suo posto naturale nella montagna, ognuno di noi vi darà uno *check* di tanto di dollari. » Si partì per Catskill Mountains. In 18 minuti fu aperto nel quarzo della montagna un tunnel lungo 18 piedi e largo 4. Con tutto ciò il Keely ritornò a Filadelfia coi suoi *checks* in tasca, ed i capitalisti si diedero a comperare tutte le miniere abbandonate che trovavano da Nuova York a San Francisco. »

Senza dubbio il risultato non corrispose all'aspettazione poichè l'effetto in Borsa fu disastroso. « Il signor Keely, scrisse la signora B. Moore nel *Philadelphia Inquirer* del 20 gennajo 1888, il quale non ha più speranza di strappare alla natura uno dei segreti che essa custodisce più gelosamente, abbandona il suo generatore di *forza eterea* e fu citato in tribunale dagli azionisti della Società del motore Keely. Egli distrusse allora gran numero dei suoi mirabili modelli [illegible] il documento, se veniva condannato alla prigionia, di non lasciarvi che [illegible] »

Secondo [illegible], il motore Keely constava di una sfera vuota circolare contenente parecchie altre sfere metalliche [illegible]. Nel mezzo era trattenuto un anello contenente due ordini di tali [illegible] come quelli dell'organo. Nel centro un disco girante. Nella parte

Abbiamo detto che il movimento vibratorio dell'acqua si traduceva in onde circolari. Non bisogna credere che quelle increspature sieno sempre e forzatamente circolari. Un esame attento ci apprende ben presto che esse possono prendere le forme più bizzarre. Tutto dipende dall'oggetto che colpisce l'acqua, o, se lo si preferisce, dalla posizione che hanno gli uni rispetto agli altri i punti O colpiti. Se cade nell'acqua un lungo bastone in guisa che tutti i suoi punti vi arrivino in un medesimo tempo, si vedranno increspature rettilinee parallele al bastone allontanarsi da una parte e dall'altra: le quali poi si raccordano circolarmente per le estremità che darebbero origine, se esistessero sole, a due sistemi di onde circolari analoghe al sistema che abbiamo studiato. Se le punte del bastone raggiungono successivamente il liquido, le due increspature rettilinee saranno inclinate l'una sull'altra. Si possono ripetere i medesimi esperimenti col nostro vaso a goccia.

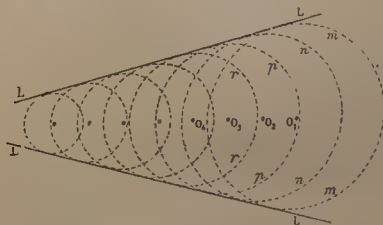



Fig. 52. — Onda liquida rettilinea.

Basta spostarlo imprimendogli un movimento opportuno (scelto in vista dello scopo prefisso) mentre cadono le goccie. In questa maniera vi saranno più centri di scossa, come nel caso di un bastone.

Huygens ha indicato come si possa prevedere in tutti i casi la forma delle onde. Il mezzo è semplice.

Spostiamo il vaso durante un secondo; esso, in quel lasso di tempo, lascia cadere quattro goccie $O_1O_2O_3O_4$ (fig. 52). Se O_1 esistesse solo, darebbe luogo ad un onda circolare che arriverebbe in mm alla fine del minuto secondo. O_2 darebbe in quell'istante l'onda nn; O_3 darebbe parimenti pp ed O_4rr. Ora, non sono già circoli che si osservano, ma linee ad essi tangenti, che li toccano tutti, le linee LL.

Vedremo più innanzi qual partito Cristiano Huygens seppe trarre da quella osservazione.

Anche le onde aeree, come le onde liquide, possono assumere le forme più svariate ed accidentali.

Esse del resto si costruiscono colle onde sferiche, come quelle che

inferiore un piccolo globo vuoto dal quale partiva il filo conduttore della forza. L'apparecchio si caricava pizzicando una sola volta coll'unghia certi aghi-diapason disposti esternamente. In conclusione, quell'apparecchio aveva per iscopo di immagazzinare e di amplificare il suono nella sfera; le vibrazioni, in quantità innumerevole, arrestate nella loro espansione dalle pareti diverse contro le quali dovevano urtare, provocavano, a quanto dicesi, un movimento rotatorio notevole.

increspano la superficie dell'acqua si costruiscono colle onde circolari. Prendiamone un esempio:

Una serie di campanelli molto piccoli ed identici (fig. 53) $O\,O'O''$ risuonano nel medesimo istante; ciascuno di essi, se fosse solo, darebbe onde che occuperebbero nel medesimo tempo la posizione $M\,M'M''$. Ora, l'onda unica, risultante da questo insieme è formata da una superficie appoggiantesi su tutte le onde, dette elementari $M\,M'M''$ (elementi dell'onda totale) e terminata alle sue due estremità da porzioni di sfera.

Parimente una lunga verga, della quale tutti i punti vibrassero nel medesimo tempo, produrrebbe onde cilindriche terminate alle loro estremità da porzioni di sfere. Le onde sonore hanno dunque forme che dipendono dalla forma del corpo sonoro (1).

Ma si può, come prima approssimazione e per ben fissare le idee, ammettere che, per esempio, la bocca che ora produce un suono, sia il centro di una serie di onde sferiche che vanno a portare il suono da lontano ed in tutte le direzioni.

Se si vuol conservare l'intensità del suono in una direzione determinata, fa d'uopo studiarsi di impedire che il moto vibratorio si perda altrove.

Gli è per questo che l'uomo, usando un mezzo istintivo, ha ideato di riunire, per quanto gli era possibile, le onde sonore verso il punto ove voleva far pervenire un appello, facendo colle mani arcuate un prolungamento alla bocca.

Quelle mani, in tale posizione, formano per così dire il principio di un tubo.

Quel tubo che doveva condurre con maggior certezza la voce verso la sua meta, l'industria degli uomini lo inventò, e fu il portavoce.

Il portavoce è un tubo conico munito di un'imboccatura che si applica contro la bocca, e di un padiglione svasato. Gli apparecchi usati in marina hanno generalmente due metri di lunghezza con un padiglione di trenta centimetri di diametro. Il portavoce più perfezionato ha raggiunto i sette metri e, a quanto si dice, portava la voce a tre chilometri. Un buon portavoce di dimensioni ordinarie non può trasmettere a tale distanza che suoni inarticolati, gridi.

Come mai un istrumento relativamente sì piccolo imparte alla voce una portata sì grande?

Si suppose dapprima che quel rinforzo di suono fosse dovuto alla riflessione delle onde sonore nell'interno del tubo, poichè dipendeva dalla forma geometrica della colonna d'aria d'onde parte il primo movimento vibratorio, e che la portata del suono in una direzione si facesse a pregiudizio delle altre direzioni, il che sembrerebbe inverosimile.

In conclusione, non si sa ancora come quell'apparecchio effettui il rinforzo del suono e la teoria del portavoce rimane da farsi.

Quel tubo conduttore direttore del suono, può essere prolungato. Si fecero tubi il cui uso è in oggi diventato comune, e che si chiamano tubi acustici.

(1) Ciò è evidente; infatti basta riflettere agli istrumenti di musica che, pur emettendo la medesima nota, hanno tutti un timbro speciale che serve a distinguerli. *Nota del trad.*

La trasmissione del suono si fa con essi in una direzione unica e potrebbe teoricamente arrivare ad una grande distanza. In pratica si verifica che il suono nei tubi di una certa lunghezza si indebolisce progressivamente: in fatti l'aria in vibrazione perde a poco a poco una parte del suo movimento nell'attrito contro le pareti dei tubi.

Combinando il portavoce col cornetto acustico, una specie di imbuto di metallo o di cartone la cui estremità affilata si introduce nell'orecchio, si è ottenuto un istrumento molto potente denominato Megafono (1).

Il megafono consta di un tubo di latta lungo due metri col diametro di tre centimetri e che termina con un padiglione: è il portavoce.

Da ogni parte del tubo sono assestati due imbuti lunghi quanto il tubo, e che si aprono con un orificio di trenta a quaranta centimetri di diametro; sono cornetti acustici. Le estremità di quei due imbuti finiscono con piccoli tubi di cauciù. Per comunicare con una persona lontana — la quale deve essere munita di un cornetto acustico — si dirige il tubo nella direzione di quella persona, e se ne sente la risposta dopo essersi introdotto nelle orecchie i capi dei tubi di cauciù

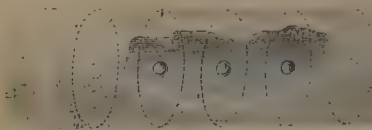



Fig. 53. — Onda aerea cilindrica.

dei due imbuti. In questa maniera si può conversare facilmente con aerostieri a tre ed anche a quattro chilometri di distanza (fig. 54).

È la portata più lunga della voce ottenuta nell'aria.

L'aria non è il solo propagatore dei suoni: i mezzi elastici lo propagan pur essi, con velocità diverse.

La velocità del suono nell'aria fu misurata da una commissione nominata dall'Accademia delle scienze nel 1738.

Le stazioni scelte furono l'Osservatorio, Montlhéry, Fontenay-aux-Roses e Montmartre. Un razzo lanciato dall'Osservatorio dava il segnale durante la notte. Ogni dieci minuti si tirava un colpo di cannone a una delle stazioni, le cui distanze erano state prima accuratamente misurate; nelle altre stazioni si contava il tempo che trascorreva fra la percezione della luce prodotta dall'accensione della polvere e l'arrivo del suono. La luce veniva considerata come propagantesi istantaneamente, non si tenne perciò calcolo del tempo che essa impiegava ad arrivare alle stazioni, ed ammessa questa ipotesi si trovò che al suono erano necessarii 1 minuto e 25 secondi per percorrere 29 chilometri e se ne concluse che la velocità del suono nell'aria è di 337 metri per secondo: la temperatura era di sei gradi.

(1) *Megafono*, dal greco μέγας (megas) grande e φωνή, apparecchio che amplifica la voce

Nel 1822, in seguito a domanda di Laplace (1) quegli esperimenti furono ripetuti da Arago, Prony, Alessandro Humboldt, Gay-Lussac e Bouvard.

Si presero per stazioni Montlhéry e Villejuif lontane 18 613 metri l'una dall'altra: i pendoli che battevano il secondo, impiegati nell'esperienza del 1877, furono surrogati con cronometri esattissimi. La velocità del suono ad una temperatura di 16° fu trovata di metri 340,9 per secondo.

Regnault (2) dal 1862 al 1866 effettuò una lunga serie di indagini sullo stesso argomento, nelle quali introdusse un perfezionamento importantissimo: eliminò l'osservatore e lo sostituì con una registrazione automatica dell'istante preciso in cui il suono si produce e di quello nel quale arriva alla stazione terminale. In questa guisa si evitavano gli errori dovuti alla non-istantaneità delle sensazioni. Regnault verificò adunque che la velocità del suono nell'aria secca ed a 0° era di metri 330,6 per secondo. Se la temperatura si inalza, fa d'uopo aggiungere a quel numero m. 0,60 per ogni grado. Per ciò, alla temperatura di 16°, la velocità raggiunge metri 340,2 per secondo.

La velocità del suono nell'acqua venne misurata da Sturm e Colladon (3), nel 1827, sul lago di Ginevra, che per la sua profondità e la purezza delle sue acque era indicatissimo per tal genere di esperienze. Sturm amarrò presso Rolle (fig. 55) una barca che conteneva una campana immersa nell'acqua. Tutto fu disposto in guisa che il martello della campana appiccasse il fuoco ad un mucchietto di polvere pirica nell'istante medesimo che batteva; la luce prodottasi in quel momento era il segnale della partenza del suono. A Thonon, distante tredici chilometri e mezzo, Colladon, pure in battello, ascoltava per mezzo di un cornetto acustico il cui padiglione pescava nell'acqua, e contava il numero dei secondi che separava la sensazione luminosa dalla sensazione sonora.

La velocità del suono nell'acqua venne trovata circa quattro volte maggiore che nell'aria, eguale cioè a metri 1435 per secondo, alla temperatura di 8°.

La cognizione della velocità del suono permette di valutare le distanze. Se passano 5 secondi fra il balenare d'un lampo e il rumoreggiare del tuono, vuol dire che la nube temporalesca è distante 5 × 340 = 1700 metri; se uno strepito generato sul fondo di un lago impiega un decimo di secondo per giungere alla superficie, si potrà concludere che il lago è profondo metri 143,50.

Il suono si propaga anche nei corpi solidi con una velocità che dipende dalla loro elasticità e dalla loro densità.

Si pervenne a valutare la velocità del suono in diversi corpi solidi, con mezzi indiretti, ed essa sarebbe di 3750 metri al secondo nel rame,

(1) Marchese di Laplace, geometra ed astronomo francese, autore della *Meccanica celeste*, ecc., nato nel 1749, morto nel 1827.

(2) Enrico Vittorio Regnault, fisico francese, membro dell'Accademia delle scienze, nato nel 1810, morto nel 1878.

(3) Sturm, matematico francese, nato a Ginevra, allora capoluogo del dipartimento del Lemano, nel 1803, morto a Parigi nel 1855. Col suo amico di infanzia Colladon riportò, nel 1827, il premio dell'Accademia delle scienze per la migliore memoria sulla compressione dei liquidi; fu nominato membro dell'Accademia delle scienze in surrogazione di Ampère nel 1836.

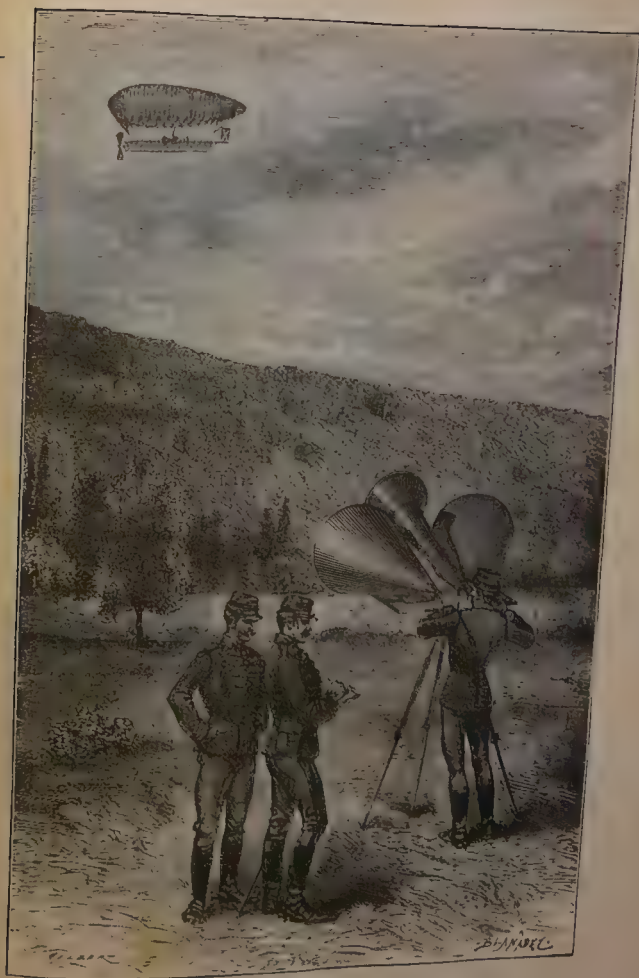



Fig. 51. — Il megafono che trasmette la voce ad aerostieri a quattro chilometri di distanza.

di 4300 metri nella ghisa, di 4800 metri in un filo d'acciajo, di 5100 metri nel ferro, di 5200 metri nel vetro e di 6000 metri in una trave d'abete.

Nel sedicesimo secolo, Francesco Bacone, cancelliere d'Inghilterra, fondatore del metodo esperimentale nelle scienze, negava ancora la propagazione del suono nei solidi, nè credeva alla possibilità di quella propagazione senza l'intermediario di un fluido ipotetico.

Fig. 35. — Misura della velocità del suono nell'acqua, eseguita da Sturm stazione di Rolle (lago di Ginevra).

Il suo compatriota Roberto Hook fu il primo a dimostrare, per mezzo di un lungo filo di ferro, che i metalli conducono il suono più presto dell'aria. Questo contemporaneo di Newton scriveva nel 1667:

« Non si è ancora esaminato sin dove potrebbero giungere i mezzi acustici, nè come si potrebbe impressionare l'udito per l'intermediario di un altro mezzo che non fosse l'aria, ed io affermo che servendomi di un filo teso potrei trasmettere istantaneamente il suono ad una

grande distanza e con una velocità rapida, se non come quella della luce, almeno incomparabilmente più grande di quella del suono nell'aria. Questa trasmissione può essere effettuata non soltanto col filo teso in linea retta, ma anche quando quel filo presenta parecchi gomiti. »

Centocinquant' anni dopo, Wheatstone (1) fece un esperimento simile sostituendo al filo un'asta solida.

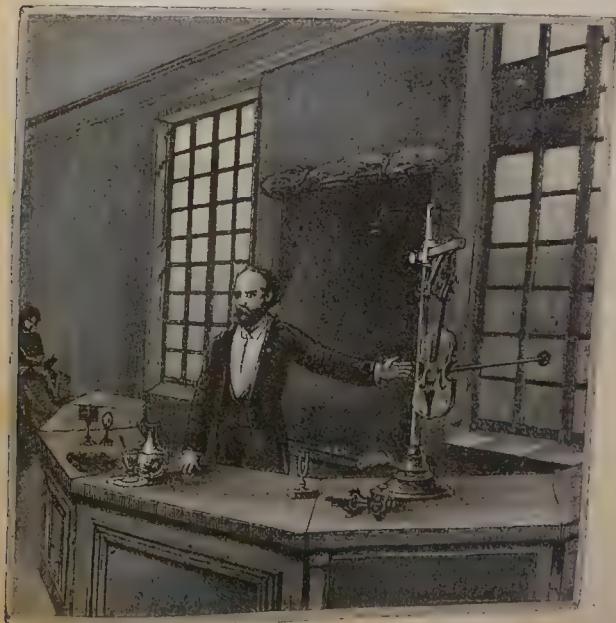



Fig. 56. — Lippmann, all'Anfiteatro di fisica della Facoltà delle scienze, in atto di dimostrare la propagazione del suono nei corpi solidi.

Ecco come Tyndall (2) ha riprodotto ed esposto questo esperimento in una conferenza alla Società reale di Londra: « In una sala situata a piano terreno, e dalla quale noi siamo separati da due piani, si trova

(1) Carlo Wheatstone, fisico inglese, nato nel 1802, morto a Parigi nel 1875.
(2) Tyndall, fisico inglese, nato nel 1820, membro della Società reale di Londra, professore di filosofia naturale all' Istituto Reale (Royal Institution).

un pianoforte; attraverso i due soffitti passa un tubo di latta di 6 a 7 centimetri di diametro, attraversato secondo il suo asse da una lunga bacchetta di abete, una delle cui estremità esce dal pavimento. La bacchetta è circondata da una lista di cauciù in guisa da riempire completamente il tubo di latta; l'estremità inferiore della bacchetta è appoggiata sulla tavola armonica del pianoforte. Un artista eseguisce attualmente un pezzo di musica, ma voi non udite alcun suono. Metto il violino sull'estremità della bacchetta, ed ecco che il violino rende a sua volta l'aria suonata dall'artista — non per mezzo della vibrazione delle sue corde, ma per mezzo delle vibrazioni del pianoforte. Levo via il violino; la musica cessa: metto al posto del violino una chitarra e la musica ricomincia. Al violino e alla chitarra sostituisco una tavola di legno, e questa tavola alla sua volta emette tutti i suoni del pianoforte. Sollevo la bacchetta quanto basta perchè non sia più in comunicazione col pianoforte, il suono si estingue. Una persona non educata alle discipline sarebbe certamente portata a credere che tale trasmissione prodigiosa fosse opera di un negromante. »

Nel suo caso di acustica alla Facoltà delle scienze, Lippmann eseguisce il medesimo esperimento surrogando il pianoforte con un violino il cui ponticello è appoggiato sopra una sbarra di legno che, attraversando un cortile largo cinque metri, va dalla sala delle conferenze all'anfiteatro di fisica; ivi un secondo violino, in contatto per il suo fondo coll'altra estremità della sbarra (fig. 56) riproduce la musica suonata sul primo: la lunghezza della sbarra è di circa dodici metri.

Non è punto necessario impiegare una sbarra rigida; un semplice filo flessibile e non teso è capace di trasportare vibrazioni numerose e svariate.

In fatti, introduciamo sotto il ponticello di un violino (fig. 72) una sottil laminetta di ottone, come fecero Cornu e Mercadier, e quella laminetta sia raccomandata a una delle estremità di un filo metallico lungo e fine sostenuto da due anelli di cauciù. L'altra estremità di quel filo è saldata ad un piccolo triangolo di canutiglia portato da una grossa tenaglia. Una barba di penna solidale colla canutiglia si appoggia sopra un registratore.

Appena il suonatore si mette all'opera, il filo rimane immobile, ma si osserva la piccola barba di penna inscrivere sul cilindro le vibrazioni delle corde del violino, senza che nulla vada perduto.

Gli è su questo stesso principio che si fonda il piccolo istrumento che fu di moda fra i giocattoli alcuni anni or sono, e che si chiamava telefono a funicella. Esso consta di un filo di seta o di cotone intrecciato, le cui estremità sono fissate a due dischi di carta grossa che costituiscono il fondo di bussolotti di cartone o di metallo. Se, quando il filo è teso fra due stazioni, si avvicina il bussolotto all'orecchio, si odono distintamente le parole proferite sia pure a mezza voce all'altra stazione. Il disco vibrante può essere di legno o di metallo.

Heaviside e Nixon poterono conversare con questo istrumento alla distanza di duecento metri; ma convien notare che avean studiato di mettersi nelle migliori condizioni possibili. Huntley, impiegando diaframmi di ferro sottilissimo ed isolando il filo della linea sopra sostegni di vetro, potè trasmettere la parola a 800 metri.

Questa distanza è la massima che i soli spedienti dell'acustica ab-

biamo sinora permesso di raggiungere, effettuando la trasmissione con una sbarra od un filo.

Tutti questi mezzi, coi quali si studiava di aumentare la portata della voce umana, erano ancora insufficienti pei moderni bisogni, allorchè i progressi della scienza fisica vennero ad appianare subitamente gli ostacoli ed a sopprimere la distanza permettendo che fosse inventato il TELEFONO.

Ma presentemente non è in giuoco l'acustica sola.

Un nuovo fattore inafferrabile entra in scena, e sarà esso quello che porterà lontano, ove saranno riprodotte, le vibrazioni dei corpi sonori.

Questi, infatti, son fenomeni ben diversi da quelli di cui ci siamo occupati sino al momento in cui fu dato al Parigino di poter sentire immediatamente le risposte del suo amico di Marsiglia. Codesta istantaneità non si sarebbe prodotta, se le vibrazioni della voce fossero state trasmesse mediante le vibrazioni del filo metallico conduttore che riunisce Parigi a Marsiglia. In un tal conduttore le vibrazioni percorrono solo quattro chilometri per secondo e siccome l'andata e il ritorno (1) abbracciano 1777,930 chilometri sarebbero passati 444 secondi (ovvero sette minuti e cinquantaquattro secondi) prima che il Parigino avesse inteso la risposta del Marsigliese (2).

Non sono dunque le vibrazioni del filo metallico del telefono quelle che trasmettono le vibrazioni della voce.

I telefoni si possono dividere in due specie: il *Telefono a calamita* o magnetico; ed il *Telefono a pila* od elettrico. Incominceremo collo studiare il primo.

La spiegazione teorica del Telefono, di questo apparecchio divenuto sì rapidamente indispensabile, presenta grande interesse. Noi speriamo di essere pervenuti a renderla chiara e intelligibile, malgrado i particolari complessi che entrano a farne parte.

---

(1) Lunghezza del filo telefonico da Parigi a Marsiglia: da Parigi (Borsa) a Lione (centrale) chilometri 531,654; da Lione (centrale) a Marsiglia (centrale) chilometri 357,311. Totale, chilometri 888,965; andata e ritorno, chilometri 1777,930.

(2) Se la voce potesse essere trasmessa dall'aria ad una tale distanza, la comunicazione di andata e ritorno fra Parigi e Marsiglia, data la velocità del suono nell'aria che come si è veduto è di 340 metri per secondo, impiegherebbe 84 minuti, ossia 1 ora e 24 minuti.

Fig. 58. — Il telefono a calamita di Graham Bell.

CAPITOLO III.

TELEFONI A CALAMITA.

Il telefono a calamita, o magnetico, inventato da Graham Bell (1), consta di un picciol numero di organi semplicissimi.

(1) Noi descriviamo qui il telefono Bell in oggi adottato, e nel quale, come vedremo, il medesimo apparecchio serve ad un tempo di trasmissore e di ricevitore. Prima di arrestarsi su questo sistema, Graham Bell aveva fatto numerosi esperimenti. Il primo telefono Bell apparve all'Esposizione di Filadelfia nel 1876; Sir William Thomson, nel suo rapporto all'Associazione britannica pel progresso delle scienze, così ne parlava facendone l'elogio:

« Ho udito [illegible] articolati attraverso un filo telegrafico, e la pronuncia elettrica non faceva che rendere ancora più spiccata l'espressione canzonatrice dei monosillabi; il filo mi recitò puro brani, presi a caso, di giornali di Nuova York. Tutto ciò le mie orecchie lo intesero articolare distintamente dal sottil disco circolare formato dall'armatura di un'elettro-calamita. Era mio collega nella giuria il professore Watson, che, all'altra estremità della linea, proferiva quelle parole ad alta ed intelligibile voce, applicando la bocca contro una membrana tesa, munita di un piccolo pezzo di ferro dolce, la quale eseguiva movimenti proporzionali alle vibrazioni sonore dell'aria vicino ad un'elettro-calamita introdotta nel circuito della linea. Questa scoperta, la meraviglia delle meraviglie, è dovuta ad uno dei nostri giovani compatrioti, il signor Graham Bell, originario di Edimburgo, ed oggi naturalizzato cittadino degli Stati Uniti.

« Non si può che ammirare l'arditezza di un'invenzione che permise di tradurre in fatto con mezzi tanto semplici il problema sì complesso di far riprodurre dalla elettricità le into-

Una calamita rettilinea N, che è l'anima dell'apparecchio, viene disposta secondo l'asse di una impugnatura di legno o di ebonite PP. Intorno all'estremità N o sopra un rocchetto di legno, è avvolto un filo metallico lungo e fino rivestito di guttaperca e di seta. Le estremità di quel filo discendono in ff lungo l'impugnatura e passano in a, b, poi escono dall'apparecchio riunite ed intrecciate come una corda. Un disco di ferro quasi puro (esente di carbonio) o ferro dolce D, di due o tre decimi di millimetro di spessore è incastonato pel suo contorno, un po' innanzi della calamita, fra le parte ampliata che finisce l'impugnatura PP ed una imboccatura di legno EE scavata a foggia di imbuto molto concavo il cui fondo munito di un foro lascia vedere una porzione del disco D. Si può far variare l'incastonatura stringendo più o meno la vite v. Finalmente una vite Vs permette, levata che sia l'estremità a foggia di pero F della impugnatura, di avvicinare la calamita al disco o di allontanarla della quantità che si desidera. Questa vite è utile in ispecial modo al costruttore dell'apparecchio.

Per comprendere gli effetti sorprendenti di questa macchinetta, fa mestieri esaminarne tutte le singole parti; pel momento noi non ci occuperemo della calamita che dal punto di vista del suo ufficio nella telefonia, riserbandoci di studiare la sua natura, la sua causa, la sua utilità nel capitolo dedicato al magnetismo.

---

nazioni e le articolazioni si delicate della voce e del linguaggio, notando che per ottenere tale risultato era mestieri trovare il mezzo di far variare la intensità della corrente nel medesimo rapporto che variavano le inflessioni dei suoni emessi dalla voce. »

Graham Bell espose la narrazione completa delle sue indagini nella Memoria letta alla Società degli Ingegneri Telegrafici di Londra il 31 ottobre 1877. Spinto allo studio dell'acustica da suo padre Alessandro Melville Bell di Edimburgo, che molto si applicava a quella scienza, Graham Bell incominciò col servirsi del fonoautografo di Scott, applicandogli un registratore sensibilissimo.

Poi si studiò di costruire un fonoautografo che si accostasse ancora di più al meccanismo dell'orecchio, ed ottenne un risultato incoraggiante. « La sproporzione notevole, egli dice di massa e di dimensioni che esisteva in questo apparecchio fra la membrana e gli ossicini messi in vibrazione da essa, attirò precipuamente la mia attenzione e mi fece pensare che avrei dovuto sostituire alla disposizione complicata che aveva adottato una semplice membrana alla quale fosse attaccata un'armatura di ferro.

« Articolando al ramo di un'elettro-calamita un'armatura di ferro, collegata da un'asta alla membrana, io pensava di ottenere come conseguenza delle vibrazioni di questa una serie di correnti indotte vibratorie che, reagendo sull'elettro-calamita di un apparecchio simile collocato a distanza, doveva far riprodurre all'armatura di questo i movimenti della prima armatura, e per conseguenza far vibrare la membrana corrispondente come quella che aveva provocato le correnti. Tuttavia i risultati che ottenni da tale combinazione di cose non furono punto soddisfacenti, e mi fu d'uopo intraprendere ancora molte e molte prove che mi condussero a diminuire quant'era possibile le dimensioni ed il peso delle armature, ed anche a fermarle con molle da orologio della grandezza dell'unghia del mio pollice. In tali condizioni attaccai le armature al centro delle membrane in luogo di articolarle. Noi potemmo allora, il mio amico Tomaso Watson ed io, ottenere trasmissioni telefoniche le quali ci indicarono che eravamo sulla buona strada. Mi rammento di un esperimento che feci allora con quel telefono e che mi colmò di gioja. Uno dei due apparecchi era situato in una delle sale di conferenze della Università di Boston, l'altro nei locali sotterranei di un fabbricato adiacente. Uno dei miei allievi osservava questo apparecchio, io badava all'altro. Dopo che io ebbi proferito queste parole: *Sentite ciò che dico?* quale non fu la mia gioja nell'udirmi rispondere attraverso l'istrumento: « Sì, sento benissimo. » Certamente l'articolazione della parola non era perfetta e ci voleva tutta l'attenzione intensa che io prestava per distinguere le parole di quella risposta; tuttavia l'articolazione di quelle parole esisteva ed io poteva credere che la loro mancanza di chiarezza dipendesse unicamente dall'imperfezione dell'istrumento. »

Senza entrare nei particolari di tutte le prove che il Bell dovette intraprendere per migliorare la costruzione del suo apparecchio, diremo che finì per riconoscere che l'intervento della corrente che attraversava il rocchetto dell'elettro-calamita non era utile che per magnetizzare l'elettro, e quindi si decise a sopprimere la pila e ad impiegare per nucleo magnetico una calamita permanente.

Diciamo soltanto che una calamita naturale è un minerale di ferro, e che una calamita artificiale è un pezzo d'acciajo temperato al quale si sono comunicate, mediante un'operazione che spiegheremo, le proprietà della calamita naturale. Generalmente a quel pezzo d'acciajo si dà la forma di una sbarra, d'un ferro di cavallo o di un rombo molto allungato che si dice « ago calamitato. »

Le calamite naturali, a cagione dei loro difetti, della loro irregolarità, della poca loro forza, non sono impiegate nè negli apparecchi telefonici, nè negli esperimenti che stiam per descrivere.

Prendiamo una calamita rettilinea e sospendiamola pel suo centro a fili non torti, per esempio a fili di filugello (fig. 59). Qualunque sia la posizione che la si obbliga a prendere, la si vede sempre, non appena le sia resa la libertà, moversi ed orientarsi in guisa tale che in riposo la stessa estremità guarda sempre il nord. Per la forza stessa delle cose, l'estremità opposta è allora rivolta verso il sud.

Fig. 59. — Orientazione di una sbarra calamitata.

Noi diamo il nome di polo nord alla regione della calamita che cerca il nord, e di polo sud all'altra regione.

Segniamo colle lettere N ed S i due poli della calamita. Ripetiamo l'esperimento con una seconda calamita, essa si orienterà nella stessa

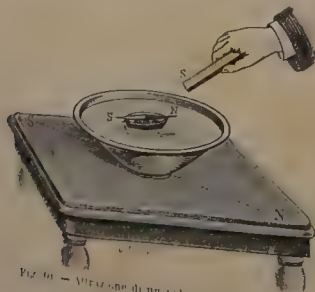



Fig. 60. — Attrazione di un polo nord per un polo sud.

maniera e noi segneremo anche questa volta i suoi poli (1) colle stesse lettere N ed S Nord e Sud.

Oltre al fatto della orientazione fatale, inesplicabile delle calamite, noi ora ne verificheremo un altro ben singolare. Se ad una delle due calamite si avvicina quell'altra, si vede che si respingono quando si trovano

(1) Il vocabolo polo deriva dal greco πολεῖν (polein), che significa *girare*; si diede questo nome alle estremità della linea intorno alla quale si fa girare una sfera qualunque.

contrapposte pei loro poli di nome eguale (i due poli nord o i due poli sud) e che si attraggono se il nord dell'una viene contrapposto al sud dell'altra.

Appressando l'estremità *S* di una calamita all'estremità *N* di un'altra posta per esempio sopra un galleggiante (figura 60), noi la vediamo deviare dalla sua posizione normale *N S* indicata dalla linea tracciata sul tavolo.

Se i due poli di una calamita sono collocati ad eguale distanza dal polo di un ago calamitato, l'attrazione di uno dei poli è annullata dalla ripulsione dell'altro polo, e l'ago calamitato (fig. 61) non viene deviato. La forza di ripulsione di un polo è dunque eguale alla forza di attrazione dell'altro polo.

Fig. 61.
Attrazione annullata dalla ripulsione.

Prendiamo ora con una mano una calamita e coll'altra un setaccio contenente limatura di ferro. Spandiamo quella limatura nelle vicinanze della regione polare nord, per esempio. In luogo di cadere a terra la limatura si dirige sulla calamita, come se vi fosse spinta da una mano invisibile e vi si deposita in modo regolare in filetti o filamenti il cui insieme forma un fiocco (fig. 62). Il medesimo fenomeno si ripeterà colla regione polare sud.

Per esaminare ancor meglio il modo come agisce una calamita, deponiamo questa calamita *N S* sopra un tavolo. Copriamola con un car-

Fig. 62. — La limatura di ferro e la calamita.

tone sottile, lungo e largo, e lasciamovi cader sopra la limatura di ferro dello staccio. Quella limatura, nei punti ove non è troppo lontana dalla

calamita, disegna linee ben distinte, fitte in certi siti, rade in certi altri (fig. 63). Per ottenere un disegno regolare giova battere leggiermente il cartone col dito allo scopo di spostare i granelli di limatura, di sottrarli alla loro gravità propria e renderli così più liberi di obbedire all'azione della calamita.

Il disegno formato dalla limatura sul cartone si chiama *spettro* o *fantasma magnetico.*

Queste esperienze dimostrano che una calamita imparte allo spazio che la circonda, e per una certa estensione, un'attività speciale. In altre parole, una calamita è capace di produrre movimenti a distanza senza intermediario visibile e palpabile.

Si dà il nome di *campo magnetico* prodotto dalla calamita alla porzione di spazio ove la calamita fa sentire i suoi effetti. Cartesio chiamava quella porzione di spazio « l'atmosfera del turbine magnetico. »

Faraday (1) indica colle parole « linee di forza del campo magnetico » le linee secondo le quali si dispongono, si orientano; i granelli di limatura. Là, ove quelle linee sono fitte, il campo è poderoso; nei punti ove sono rare il campo è debole.

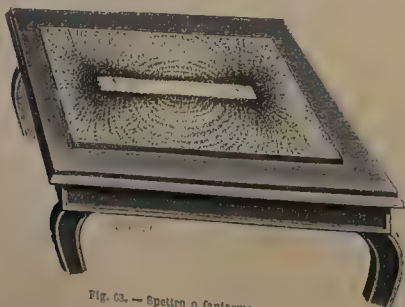



Fig. 63. — Spettro o fantasma magnetico.

Si è stabilito di dare un senso a quelle linee di forza, e di dire che esse partono, escono od emanano dalla metà nord della calamita, e che mettono capo, entrano, si assorbono alla metà sud. Tale senso è indicato dalle freccie del disegno (fig. 64).

La limatura di ferro si allineerebbe del pari sul cartone se questo venisse mulinato intorno alla calamita (trascurando per altro il disordine portato dalla gravità propria della limatura, poichè sotto l'influenza di quella forza la limatura tende a scivolare lungo il cartone): il che equivale a dire che il campo è simmetrico, di rivoluzione, intorno alla calamita.

Si può senza inconvenienti fare astrazione dalla calamita e non ve-

(1) Michele Faraday, chimico e fisico inglese, nato nel 1791, morto nel 1867, figlio di un fabbro ferraio, salì in fama pei suoi lavori intorno al magnetismo ed all'elettricità.

dere più nel campo magnetico che una porzione di spazio piena di un mezzo — che si chiamerà l'etere — le cui molecole sarebbero animate da un movimento che dà origine a quel flusso di linee di forza, delle quali la limatura ci reca la rivelazione e ci disegna, entro certi limiti, il numero e la forma.

Studieremo più innanzi, come abbiamo promesso, la causa determinante di un campo magnetico; in questo capitolo abbiam bisogno soltanto di ricercarne le proprietà fondamentali.

Fig. 64. Senso delle linee di forza.

Ciò che per prima cosa colpisce l'occhio e la mente, si è il come una piccola sbarra di ferro dolce, che non esercita azione veruna sulla limatura di ferro, divenga una vera calamita appena sia introdotta nel campo magnetico; infatti la limatura si attacca immediatamente in fiocchi verso le estremità di quella.

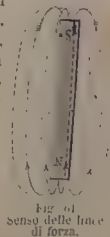
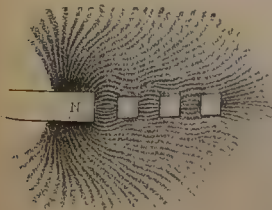
Collocando una sbarra di ferro dolce sotto il cartone che nasconde la calamita nell'esperimento dello spettro magnetico, si vede che lo spettro stesso si deforma. Le linee di forza vanno in gran numero a concentrarsi sul ferro dolce, come se fossero aspirate da esso. La figura 65 rappresenta l'effetto prodotto da tre sbarrette di ferro dolce poste sotto il cartone sul prolungamento della calamita.

Esperimentando la sbarra per mezzo di un piccolo ago magnetico, di cui si conoscono i poli, o seguendo cogli occhi il cammino delle linee di forza dal loro distacco dalla prima calamita, nel senso convenzionale che loro si è dato, si riconosce senza fatica che nei punti ove escono dal ferro dolce determinano una regione nord ed ove rientrano una regione sud.

Fig. 65. Deformazione dello spettro magnetico.

La deformazione delle linee di forza per l'influenza di un pezzo di ferro dolce introdotto nel campo magnetico, dipende dalla forma del pezzo di ferro e dalla sua posizione.

Ove si tratti di un disco estremamente sottile sostituito alla sbarra, lo spettro primitivo è appena modificato; le linee di forza lo varcano senza difficoltà (fig. 66); la faccia di ingresso è una faccia sud *S*, e la faccia di uscita una faccia nord *N*. In questo caso si dice che il disco è calamitato trasversalmente, vale a dire nel senso dello spessore, sotto l'influenza del campo magnetico, (ed alcuni decimi di millimetro sono sufficienti).

Il disco è più grosso? allora le linee di forza aspirate al centro del disco sfuggono dalla periferia (fig. 67): vi ha dunque una regione sud nella parte centrale *S*, ed una regione nord su tutta la periferia *NN*. In questo caso si dice che il disco è calamitato circolarmente. Le linee di forza raccogliendosi sul disco vi producono un campo magnetico più poderoso che nel caso precedente.

Quanto precede ci fa comprendere che la calamita *NS* — che pro-

duce il campo magnetico del telefono di Graham Bell (fig. 58) — è l'organo essenziale dell'apparecchio, e che sotto la sua influenza il disco incastonato D che ha parecchi decimi di millimetro di grossezza, si calamita circolarmente; vale a dire concentra su sè stesso la forza del campo, inoltre è evidente che quel disco calamitato sarà costantemente attratto verso la calamita (1) poichè disco e calamita si prospettano pei loro poli contrarii; il disco si precipiterebbe sulla calamita se non avesse il contorno incastonato.

Fig. 66. — Disco calamitato trasversalmente.

Tale è lo stato del telefono quando i suoi organi sono immobili gli uni rispetto agli altri: questo è lo stato statico (2) del telefono a calamita.

Ora, che cosa succederebbe, se il disco D, che supponemmo sino a questo momento immobile, venisse posto in movimento?

Per saperlo, ci è mestieri riprendere da questo punto di vista l'esperienza della calamitazione del ferro dolce per influenza di una calamita.

Sotto il cartone che nasconde la calamita e porta lo spettro viene introdotto il ferro dolce. Immediatamente lo spettro si deforma, poi tutto torna in riposo. Ma se alla calamita o al ferro dolce si imprimerà un movimento qualsiasi, quel movimento verrà immediatamente accusato da una nuova deformazione dello spettro, da uno spostamento corrispondente delle linee di limatura. Questo movimento delle linee di forza del campo, questo stato dinamico (3) dà luogo, sino che dura, a fenomeni del massimo interesse, scoperti da Faraday, fra il 1831 e il 1832, e chiamati fenomeni di *induzione magnetica*.

Fig. 67. Disco calamitato circolarmente.

Per venire alla conoscenza di quegli importanti fenomeni, infiliamo una calamita N secondo l'asse di un rocchetto BB (fig. 68) (un rocchetto è un cilindro di legno, torato secondo il suo asse, e sul quale si avvolge un filo metallico rivestito di seta o di guttaperca). Mettiamo lungo il filo f, girato ripetutamente sul rocchetto, alcuni piccoli aghi calamitati intorno ai quali faremo passare il filo (a tal uopo si avvolge il filo sopra una scatoletta di legno, nel centro della quale si trova l'ago calamitato sospeso ad un filo di filugello). Ed ora attacchiamo una coll'altra le estremità del filo f.

(1) [illegible] ad un cefalopodo, ad un polipo, [illegible] meandri. La preda studiandosi di [illegible] abbandonino punto, si al- [illegible] per converso, sono i ten- [illegible] alternatamente allontanata o avvi- [illegible] dipende, nel [illegible] del cefalopodo.
(2) [illegible] della preda e nel caso nostro sostituita da [illegible] riposo.
(3) Dinamico, dal greco [illegible] movimento, forza.

Terminati questi preparativi, afferriamo una sbarra di ferro dolce ed accostiamola rapidamente alla calamita. Noi sappiamo che questo fatto produrrà una subita deformazione del campo magnetico e che le linee di forza si precipiteranno sul ferro dolce. Ma in questo lasso di tempo succede una cosa che noi non pensavamo dovesse succedere; i piccoli aghi *a*, *b*, *c*, benchè lontani, hanno tutti deviato e tutti nel medesimo senso.

Ciò prova manifestamente che lungo tutto il filo ed intorno ad esso si è creato un campo magnetico, che si chiamò campo indotto dallo spostamento della sbarra di ferro dolce. Il campo della calamita viene detto campo induttore.

Non appena lo spostamento della sbarra di ferro dolce è cessato, non

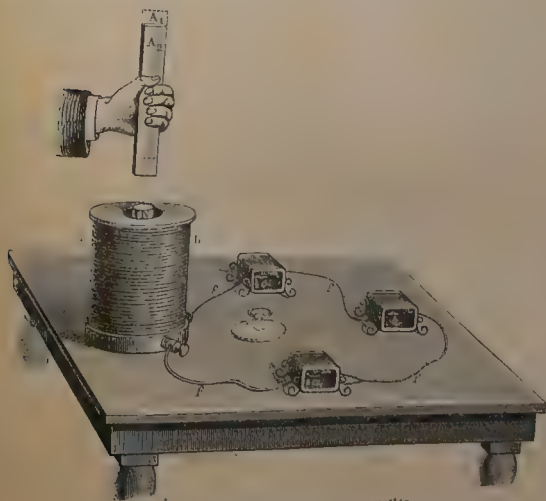



Fig. 63. — Fenomeni di induzione magnetica.

vedremo più, come nell'esperienza dello spettro magnetico deformato, le linee di forza fermarsi e fissarsi nella posizione che occupano, bensì osserveremo che i piccoli aghi calamitati, indicatori del campo indotto lungo il filo, ritornano alla loro primitiva posizione: il campo indotto è dunque scomparso.

Avvicinando nuovamente la sbarra di ferro dolce, il campo indotto si ristabilisce, per svanire appena la sbarra si arresta. Il campo indotto esiste dunque solo fin che dura la perturbazione avvenuta nel campo magnetico preesistente della calamita, per effetto del movimento del ferro dolce.

Si comprende senz'altro che l'allontanamento della sbarra crea, come il suo avvicinamento, un campo magnetico lungo il filo, se non che vuolsi notare che il senso di questo campo è opposto al precedente, vale a dire che se per l'avvicinarsi della sbarra gli aghi calamitati deviarono nel senso delle lancette di un orologio, quando quella viene allontanata girano in senso inverso.

Ma ciò non basta. Se la sbarra passa dalla posizione A_1 alla posizione A_2 lentamente, gli aghi indicatori *a b c* rimangono immobili. Essi subiscono una deviazione tanto più violenta quanto più rapido ed istantaneo fu lo spostamento della sbarra. Si vede quindi che è la velocità, la rapidità della deformazione del campo magnetico preesistente che regola la potenza del campo indotto.

Più lo spostamento della sbarra è istantaneo, più il campo indotto è poderoso, ma appunto per ciò la sua durata sarà meno lunga. D'altra parte l'esperienza dimostra, ed il buon senso lo indica, che quanto più forte sarà il campo magnetico preesistente o campo induttore della calamita, tanto più intenso sarà il campo indotto, dato il medesimo spostamento A_1 A_2 effettuato colla medesima rapidità.

Per ben fissare le idee su questi diversi fenomeni, indispensabili a conoscersi per comprendere il telefono, imaginiamoci che la sbarra di ferro dolce sia surrogata da un disco di ferro dolce, sorretto da uno dei rami di un *diapason* (1) e messo in vibrazione da esso (fig. 69)!

Seguiamo il fenomeno durante una vibrazione, vale a dire durante il « periodo » del suono emesso dal *diapason*. Che cosa succederà quando il disco di ferro dolce trascinato dal *diapason* farà una vibrazione dinanzi alla calamita *NS*? (Nella figura 69 abbiamo esagerato le vibrazioni per far meglio spiccare gli effetti successivi si vedono in *M* e *P* le posizioni estreme del disco ed in *N* la sua posizione in riposo).

Siccome poi il disco si comporta nel caso nostro come la molecola *M* della quale spiegammo il cammino (pag. 50, fig. 42), si comprende che da *M* in *N* il disco si avvicina alla calamita con una rapidità, con una velocità crescente; dunque il campo indotto lungo il filo va esso pure costantemente crescendo durante quel tempo e fa deviare gli aghi indicatori *A A'* nel senso delle lancette di un orologio. (Noi diremo che in questo caso il campo indotto è di senso diretto.) Il disco si sposta da *N* in *P*; il campo indotto è ancora diretto, ma diminuisce sino ad annullarsi. Da *P* ad *N* il disco si allontana con velocità crescente, il campo indotto è allora inverso al precedente, perchè fa girare gli aghi indicatori in senso contrario, cresce da *P* ad *N*, diminuisce da *N* ad *M* ove si annulla, e la vibrazione ricomincia.

Da ciò risulta che quegli aghi indicatori vibrano contemporaneamente col disco.

Si può dire che quegli aghi non fanno altro che seguire la vibrazione del campo magnetico indotto, vale a dire la vibrazione delle molecole del mezzo incognito i cui movimenti producono e caratterizzano il campo.

La vibrazione sonora del *diapason* ha dunque dato origine, grazie al

(1) La nota emessa dal *diapason* sarebbe alterata, quando si attacca il disco al suo ramo inferiore, se non si usasse in pari tempo la precauzione di porre un contrapeso sul ramo superiore.

ferro dolce ed alla calamita, ad una *vibrazione magnetica*, che si propaga lungo tutto il filo con tale rapidità che produce simultaneamente il suo effetto in tutti i punti.

Il *campo magnetico* vibratorio ci servirà a chiarire gli effetti del telefono.

Abbiamo testè veduto che una *vibrazione sonora* può « occasionare » una *vibrazione magnetica*. Abbiamo detto « occasionare » e non sapremmo adoperare un'altra parola, tanto questa sorta di trasformazione di vibrazione sonora in vibrazione magnetica è ancora circondata di mistero.

Or ci abbisogna conoscere se codesta *vibrazione magnetica* può, condotta che sia verso una stazione stabilita, restituire in quella stazione la *vibrazione sonora*.

Se così sarà, se la vibrazione magnetica potrà riprodurre in lontananza la vibrazione sonora che le diè origine, il *Telefono* sarà inventato.

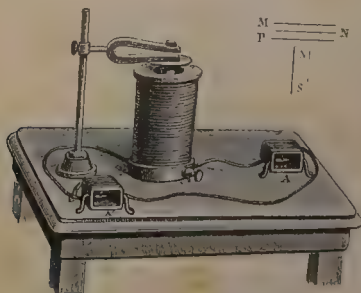



Fig. 69. — Vibrazione sonora che dà occasione ad una vibrazione magnetica.

Ma qual congegno si dovrà ideare per produrre una tale trasformazione?

Supponiamo che il filo del rocchetto in esperimento vada ad attaccarsi alle estremità di un filo avvolto sopra un secondo rocchetto *S*, simile al primo, col suo diapason con calamita e disco di ferro dolce *D'* (fig. 70 e 71) che noi chiameremo rocchetto ricevitore.

Se il diapason del rocchetto *S* dà il la_3, vale a dire effettua 435 vibrazioni doppie in un secondo, il suo « periodo » sarà eguale alla quattrocentotrentacinquesima parte di un secondo, e la vibrazione magnetica dovrà prodursi in quel tempo brevissimo.

La vibrazione magnetica agisce su qualunque calamita situata in prossimità del filo che serve di asse al campo indotto. Essa fa deviare, come abbiamo veduto, ora in un senso ora in senso opposto, gli aghi calamitati indicatori *a*, *b*, *c*. Evidentemente essa agirà in modo simile sul disco di ferro dolce del rocchetto ricevitore, poichè il disco è calamitato.

Secondo il senso della vibrazione magnetica, il campo vibratorio ag-

giungerà, sommerà la sua azione sul disco D' (che qui sostituisce gli aghi indicatori) all'azione che esercita la calamita, o la leverà, la sottrarrà. Il disco dunque si sposterà per prendere una nuova posizione di equilibrio.

E siccome l'attrazione sul disco D' aumenta e diminuisce periodicamente, esso si avvicinerà alla calamita per poi allontanarsene, e farà una vibrazione completa nel medesimo tempo del campo magnetico vibratorio, e, per conseguenza, nel medesimo tempo del disco D. Alla stazione S, si dovrà dunque sentire il suono la_3, poichè il disco D, dovrà effettuare 435 vibrazioni in un secondo.

Fig. 70. — Trasmissione della vibrazione sonora.

L'ampiezza dello spostamento del disco non ha punto bisogno di essere grande; il più delle volte non è nemmeno visibile. Lord Rayleigh, presidente della Società reale di Londra, ha dimostrato che l'ampiezza delle vibrazioni può, infatti, diventare estremamente piccola, assai inferiore ad un *milionesimo di millimetro,* senza che il suono cessi dall'essere precettibile.

Il disco D ci servirà di trasmissore ed il disco D_1 di ricevitore, ma si capisce che si ponno invertire le parti, ponendo in D_1 il diapason D.

Vediamo se l'esperimento confermerà le nostre previsioni.

Mettiamo il diapason in vibrazione, secondo il modo consueto facendo scorrere una verga di grossezza opportuna fra i suoi due rami; le vibrazioni del diapason si comunicano al disco di ferro dolce, sostegno del campo magnetico. Per suo mezzo si crea nel filo un campo indotto o campo magnetico vibratorio, il quale, in S_1, attrae e respinge periodicamente il disco D_1. I movimenti vibratorii di quel disco si comunicano all'aria e di là all'orecchio che ascolta e sente effettivamente un suono.

Fig. 71. — Ricevitore della vibrazione sonora.

Ma quel suono, inteso nel ricevitore, è poi ben identico al suono che fu emesso dinanzi al trasmissore?

Ne possiede l'altezza, l'intensità, il timbro?

Rammentiamo che il « periodo » è la durata di una vibrazione, e l'« altezza » (1) il numero delle vibrazioni complete effettuate in un minuto secondo. Aggiungiamo che i nostri mezzi non ci consentono di avere con precisione la misura del « periodo » che a condizione di misurarne un certo numero; si misura adunque il nu-

(1) I suoni producono sul nostro orecchio impressioni svariate; gli uni son detti « bassi » o « gravi », gli altri « alti » od « acuti » e l'esperienza dimostra che quella sensazione dipende solamente dal *periodo* del suono percepito. Lo si caratterizza, lo si misura coll'« altezza », ma è evidente che non si ha luogo a parlare dell'« altezza di un suono » se non quando si mantiene identico a se medesimo, s'inscrive secondo una curva periodica, e, in definitiva, un suono musicale. Gli altri suoni, rumori o fracassi sono un misto di suoni musicali nei quali l'orecchio non può discernere nulla di preciso o di chiaro.

mero dei « periodi » contenuti in un secondo, il che corrisponde a misurare « l'altezza o l'acutezza » del suono.

Si tratta di assicurarsi che « l'altezza » del suono trasmesso non è punto alterata nelle metamorfosi successive della vibrazione sonora.

Prima di tutto bisogna conoscere e misurare « l'altezza » del suono inviato. A tal fine, si obbligherà il corpo sonoro, diapason od altro, che

Fig. 72. — Cornu e Mercadier che determinano l'altezza di diverse note emesse da un violino.

dà la nota in D ad inscrivere le sue vibrazioni a lato di un pendolo che batte i secondi. Si conterà sul disegno ottenuto il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un certo numero di secondi e dividendo il primo numero pel secondo si avrà « l'altezza » del suono emesso.

È evidente che se si aveva antecedentemente comparata al minuto secondo la durata di una vibrazione di un diapason qualunque (come ciascuna delle vibrazioni che effettua colla medesima durata) quel dia-

pason potrebbe servire alla misura del tempo. Esso servirebbe di diapason cronografo (1), poichè inscrivendo le vibrazioni, scrive anche il tempo.

Fu in questo modo che Cornu, membro dell' Istituto di Francia, professore alla Scuola politecnica, e Mercadier, ispettore dei Telegrafi, direttore degli studii alla Scuola politecnica, pervennero a determinare l'altezza di diverse note emesse da un violino sul quale si suonava l'aria del *Guglielmo Tell* « Nel seno dell'onda » e l'aria dell'*Ebrea* « O Dio dei nostri padri » (fig. 72).

Questo esperimento, del quale abbiamo parlato a proposito delle vibrazioni sonore trasmesse per un filo (pag. 68), fu fatto nel 1869 e ripetuto nel 1872.

Se a noi fosse dato inscrivere direttamente le vibrazioni di D_1 nel posto di ricevimento, noi sapremmo subito se il suono ricevuto ha la medesima « altezza » del suono mandato. Ma codesta inscrizione diretta è qui malagevole, causa l'estrema picciolezza delle vibrazioni di quel disco, e val meglio ricorrere alla *sirena*.

Fig. 73 — Sirena.

Tutte le volte che due suoni prodotti simultaneamente impressionano l'orecchio in quella certa maniera che si caratterizza colla parola « unisono » il metodo precedente, o metodo grafico, mostra che i due suoni provengono da un medesimo numero di vibrazioni per secondo, vale a dire che hanno la medesima « altezza. »

Se dunque si potrà costruire un apparecchio indicante il numero delle vibrazioni relative al suono che manda ed atto ad esser messo all'unisono con un suono qualunque, si avrà l'altezza di questo suono per mezzo di una semplice lettura.

A quest'uopo Cagniard de Latour inventò la Sirena (2).

Come principio una sirena consta di un piatto circolare (fig. 73) che porta su una circonferenza una serie di fori equidistanti. In un tubo situato all'altezza dei fori si injetta aria. Facendo girare il piatto, il tubo viene alternativamente aperto o chiuso secondo che gli passano davanti le parti piene o le parti vuote. Ogni buffo d'aria che attraversa i fori respinge l'aria che si trova dall'altra parte del piatto, e quell'aria ritorna al suo posto quando al vuoto del piatto si sostituisce il pieno. Se sulla circonferenza vi sono 20 fori ed il disco fa 10 giri in un secondo, l'aria sarà scacciata 200 volte e 200 volte ritornerà indietro; il suono prodotto corrisponderà dunque a 200 vibrazioni complete per secondo. Se in luogo di un solo tubo ve ne fossero parecchi, il suono udito sarebbe sempre il medesimo, poichè il numero delle vibrazioni non è modificato, ma quel suono, come di leggieri si comprende, riuscirebbe assai più forte. (Ordinariamente i piatti della

(1) Dal greco χρόνος (chronos) tempo, e γράφω (grapho) scrivo.

(2) Cagniard de Latour, fisico, nato a Parigi nel 1777, morto nel 1859, diede alla sua invenzione il nome di sirena, perchè si può farle emettere suoni anche nell'acqua.

sirena portano parecchie serie di fori per servire ad esperimenti comparativi.)

Ora dunque noi possiamo determinare l'altezza del suono inteso al disco D_1. Si farà girare il piatto della sirena sempre più in fretta sino a che mandi un suono all'unisono con quello del disco D_1; ottenuto questo risultato, si manterrà il piatto nel suo movimento e per mezzo di un meccanismo semplicissimo se ne conteranno i giri. Si lascierà che le cose continuino a camminare così durante un certo numero di secondi (che si legge sopra un cronometro), poi si arresterà il motore e si leggerà il numero dei giri compiuti; questo numero, moltiplicato pel numero dei fori del disco, farà conoscere il numero delle vibrazioni complete eseguite durante il tempo espresso in secondi, letto sul cronometro. Si riferirà quel numero di vibrazioni al minuto secondo in guisa da ottenere l'altezza del suono mandato dalla sirena, vale a dire l'altezza del suono emesso dal disco D_1.

Quei due metodi rispettivamente applicati al trasmissore ed al ricevitore mostrano che il suono ricevuto in D_1 possiede a tutto rigore la medesima « altezza » che ha il suono prodotto in D: alle due stazioni risuona un la_3.

Gli è quanto avremmo potuto concludere dalle leggi che governano i fenomeni di induzione.

Certamente Faraday, che aveva l'intelligenza di quei fenomeni, non avrebbe esitato ad affermare, di fronte al sistema DS_1 D_1S_1, del quale abbiamo spiegato la costituzione, che i movimenti del disco D dovevano trasmettersi in D_1. Infatti egli conosceva quella specie di reciprocità, di riversibilità fra le cause e gli effetti, che caratterizza i fenomeni di induzione e che ci fa comprendere la ragione della loro infinita fecondità.

Ma l'esperimento oltrepassa di gran lunga le nostre previsioni. Non è necessario di fissare il diapason al disco, basta far vibrare il diapason a poca distanza perchè le molecole del disco entrino in vibrazione e permettano la trasmissione magnetica del suono.

Avviene la medesima cosa, ed era da aspettarselo, per un suono cavato da un istrumento qualunque. In D_1 si sentirà distintamente il pezzo di musica suonato in D, per esempio sopra un violino; e se al violino si sostituirà il pianoforte, il flauto, ecc., si riconoscerà perfettamente l'istrumento che suona.

Dunque quella qualità che noi chiamiamo il « timbro » (1) non viene alterata, almeno in modo molto sensibile. Il suono arriva in D_1 non solo colla sua « altezza » ma anche col suo « timbro. »

Vi ha di più, gli istrumenti possono venir suonati insieme, il pezzo di musica sarà udito in D_1 e cadauno degli istrumenti dell'orchestra sarà riconosciuto.

---

(1) Abbiamo veduto nel precedente capitolo che le corde di un'arpa si mettono a cantare quando si producono vicino ad esse i suoni che sono capaci di emettere. Questa proprietà permette di cavar fuori, di analizzare il caos di suoni che giungono sino all'arpa.

Fu con questo mezzo che il professore Helmholtz, il quale ha ingegnosamente definito il timbro « il colore del suono, » ha dimostrato quale fosse la causa del timbro. Ciò nulla meno egli sostituì all'arpa una serie di sfere vuote di cristallo o di ottone munite di due aperture ed i cui volumi andavano gradatamente decrescendo. Quelle sfere, chiamate risuonatori di Helmholtz e che sono piene d'aria, hanno la medesima facoltà che possiedono le corde, del-

Finalmente la parola stessa, il suono articolato, il più complesso di tutti i suoni, quello che inscritto nel fonografo dà luogo alle curve più irregolari, più accidentali, più inattese (1) è chiaramente trasmessa da D in D_1 o da D_1 in D, poichè tra le due stazioni, una volta soppresso il diapason, non v'è differenza di sorta.

Questi esperimenti, dei quali era difficile prevedere l'esito, ci rivelano la squisita sensibilità, la mirabile attitudine al movimento di quel mondo invisibile, di quel mezzo sconosciuto la cui attività rende possibili quei fenomeni magnetici.

In quel mezzo, come nei corpi materiali elastici, come nell'aria, possono esistere, senza mutuamente turbarsi, movimenti e periodi assai diversi, poichè suoni simultaneamente trasmessi in D arrivino in D_1 collo stesso carattere che se vi fossero stati trasportati dalle onde sonore attraverso l'aria.

Il travestimento magnetico del suono che gli ha consentito di effettuare comodamente ed istantaneamente un viaggio troppo faticoso nell'aria, e la sua ricomparsa in D_1, ove le circostanze rendono impossi-

---

l'arpa: ciascuna di esse non è sensibile che ad un solo suono e tale sensibilità è superiore assai a quella delle corde dell'arpa o del pianoforte.

Se dinanzi a quei risuonatori si fa vibrare, a cagion d'esempio, una corda, si osserva che parecchi di essi si mettono ad accompagnarla. Si conclude che la corda manda ad un tempo parecchi suoni. Il più grave, che è pure il più intenso di tutti, il solo che un orecchio comune percepisca, è il suono dominante della piccola orchestra nascosta nelle molecole della corda. Gli altri suoni, molto più deboli, hanno periodi perfettamente eguali alla metà, al terzo, al quarto, ecc., di quello del suono dominante, essi ne sono gli armonici e danno al suono dominante il suo carattere, il suo timbro. Sono i fiori del mazzo sonoro (*).

Un diapason non può influenzare che un solo risuonatore: il suono mandato da un diapason è dunque privo di armonici, in questo senso non ha timbro. Il mazzo sonoro non ha colori e perciò l'orecchio non prova piacere a udirlo.

Helmholtz si giovò di questa proprietà del diapason, per ricostruire il timbro di un suono (di quello della corda per esempio). Egli fa risuonare insieme, con intensità relative opportune, tutti i diapason che mandano i suoni trovati nell'analisi precedente e perviene a produrre sull'orecchio il medesimo suono, il medesimo timbro, come se vibrasse la corda e non il diapason. Ciascuno dei diapason è un fiore; scegliendo opportunamente quei fiori ed associandoli si ricompone il mazzo di suoni che scaturivano dalla corda. Dunque, sopra una medesima corda sono sovrapposti parecchi movimenti vibratorii i cui periodi sono tutti sottomultipli esatti di quello del più lento di essi. Quest'ultimo domina e fornisce il suono più forte, ma gli altri movimenti, assai meno ampii, producono i suoni armonici del precedente e gli impartono il suo carattere, la grazia, la dolcezza (**).

Questo risultato ci mostra che l'armonia dei movimenti si osserva in tutte le manifestazioni della natura, fra i globi immensi che gravitano nel seno dello spazio e fra le molecole infinitamente piccole dei corpi.

(1) I suoni musicali danno nel fonografo linee regolarissime, riproduzioni d'una stessa curva.

(*) I suoni armonici per la nota *do* possono essere scritti coi caratteri musicali come segue:

che sono i suoni naturali degli strumenti di metallo a *bocchino*, ed i suoni flautati che si traggono dagli istrumenti da corda ad arco, salvo però inteso prendere per fondamentale la nota di impianto dell'istrumento di metallo o della corda del violino, violoncello, contrabbasso, ecc. Su questo principio sono fondati i ripieni dell'organo. *Nota del Trad.*

(**) Con questa teoria si dovrebbe poter spiegare perchè di due voci che cantano una ci scenda al cuore e l'altra ci suoni ingrata al nostro orecchio. La prima emetterebbe la nota fondamentale accompagnata da un maggior numero di armonici della seconda, o viceversa, e diciamo viceversa [illegible] all'organo che con pochi registri di ripieno ha una voce più dolce che quando agisce il tutto. *Nota del Trad.*

bile un più lungo *incognito*, non hanno per nulla alterato le sue qualità essenziali. Esso appare di nuovo colla sua altezza ed il suo timbro (1).

---

(1) Vediamo un po': la definizione del professore Helmholtz: « il timbro è il colore del
suono » non sarebbe essa forse semplicemente una frase poetica? Il suono avrebbe esso mai
effettivamente, realmente, un colore? Alla sensazione auricolare si congiunge in certe persone
una sensazione luminosa. Codeste persone possiedono una tale sensibilità che non ponno sentire un suono senza veder un colore. Questo fenomeno fu ancora poco osservato o non ricevette spiegazione. Noi abbiamo veduto che un campo magnetico creava lungo ed intorno ad
un filo un campo indotto. Noi vedremo che una corrente elettrica attraversando un filo genera nei fili vicini correnti indotte. Ora, perchè certi nervi non potrebbero esercitare sui nervi
vicini azioni analoghe, in certi organismi? Nel caso che ci occupa, il nervo acustico sarebbe
il nervo induttore ed il nervo ottico il nervo indotto.

Ecco qua i fatti singolari che Enrico de Parville ha raccolto nelle sue *Causeries scientifiques*: « Fu un medico di Vienna, il dottore Nussmaumer, che per il primo segnalò questo singolare fenomeno di ripercussione nervosa; un giorno in cui, mentre era ancora fanciullo, si divertiva con suo fratello a far risuonare un bicchiere battendolo con una forchetta, riconobbe che nel tempo stesso che *sentiva* il suono vedeva dei *colori*, e sì completamente che turandosi gli orecchi indovinava dal colore che intravedeva l'energia del suono prodotto dalla forchetta. Suo fratello risentiva le medesime impressioni luminose sotto l'influenza dei suoni e dei rumori. Alle interessanti osservazioni del Nussmaumer vennero ben presto ad aggiungersi altre presso a poco identiche di uno studente di medicina di Zurigo. Quel giovane vedeva apparire colori svariati nel tempo stesso che sentiva. Le note musicali si rivelavano con colori determinati; le note alte producevano colori chiari le note basse colori oscuri. Più recentemente un oftalmologo di Nantes, il Pedrono, potè verificare le medesime singolarità in un suo amico.

« L'abitudine è una seconda natura. L'amico del Pedrono erasi così bene assuefatto a quella doppia percezione delle sensazioni luminose ed auricolari, che non se ne dava più pensiero e non l'aveva mai rivelata a chi che sia. Sul principio dell'incomodo, tacque il fatto per tema di sentirsi dare la taccia di originale, in seguito non ci badò più.

« Un giorno in un crocchio di cui egli faceva parte, parecchie persone si divertivano a ripetere a proposito di tutto, in forma di celia, una espressione barocca tratta da una storiella qualunque: « Ma ciò è bello come un cane giallo! E via di questo passo, tutto era bello come un cane giallo. « Avete notato la sua voce, disse una delle persone presenti; essa è bella, ma bella come un cane giallo!

« — Niente affatto, interruppe con vivacità l'amico del Pedrono; la sua voce non è punto gialla, essa è perfettamente rossa. »

« L'osservazione era stata fatta con tale serietà, che l'adunanza si mise a ridere. Come mai, domandarono tutti, una voce rossa! Che cosa dite mai?

« Fu giuocoforza spiegarsi. Il signor X... confessò di possedere la singolare facoltà di vedere il colore della voce. Come è naturale, tutti vollero conoscere la tinta della propria voce
ed il signor X.. dovette dar soddisfazione a tutti. Volle il caso che fra gli astanti si trovasse
una voce dalla tinta gialla: era la più bella!

« Secondo il Pedrono, non esiste nel suo amico che ode vedendo, nessuna traccia di lesione dell'occhio o dell'orecchio; l'udito è buono, la vista perfetta, la salute generale ottima.
E tuttavia la sensibilità del soggetto è tale che l'impressione luminosa precorre forse l'impressione sonora: prima di essersi formato il concetto della qualità o dell'intensità del suono,
egli ha già veduto e sa che è rosso, blu, giallo, ecc.

« In questo soggetto non si verifica, come nello studente di Zurigo, cangiamento di tinta apprezzabile quando si cambia di tono. Una nota *diesis* è solo più brillante di una nota naturale; una nota bemolle è più scura. Tuttavia, il medesimo pezzo di musica eseguito sopra istrumenti diversi provoca sensazioni assai differenti. Il Pedrono racconta che una melodia bretone dava al suo amico la sensazione del giallo quando la si eseguiva sul saxofono,
del rosso sul clarino, del blu sul pianoforte, il che prova che è sopratutto il timbro che esercita la sua influenza sul fenomeno.

« L'energia del suono corrisponde alla intensità del colore. I fragori risuonanti fanno apparire tinte splendide. I suoni molto acuti determinano una sensazione grigiastra che passa al bianco brillante dell'argento quando divengono intensi. Così, per esempio, colpi di fischio ognora più forti!

« La voce umana determina sensazioni multiple. Le vocali *i* ed *e* producono i colori più vivi, *a* ed *o* tinte meno spiccate; *u* una tinta oscura. Generalmente pel signor X.. l'*e* dà il giallo, l'*a* l'azzurro cupo, l'*o* il rosso, l'*i* l'arancato, l'*u* il nero. I dittonghi producono associazioni di tinte: *eu* è grigio, *ei* è grigio chiaro, *ue* violetto. Mentre si canta, il soggetto vede sopratutto giallo, verde, rosso e blu.

« Il signor X... vede tutti i rumori, tutti i suoni, distingue tutte le voci; ma, fatto strano, non può *vedere* la propria!

« Quando gli si domanda quale è, in conclusione, la forma sotto la quale vede i suoni, egli risponde che l'apparizione colorata si fa sopra l'oggetto vibrante. È il corpo sonoro che si

La possibilità stessa della trasformazione delle onde sonore in vibrazioni magnetiche e delle vibrazioni magnetiche in onde sonore ci dimostra come e quanto sia stretta la dipendenza fra il mondo invisibile ed il mondo materiale, fra le particelle del mezzo il cui movimento ci fa concepire la ragione di essere dei fenomeni di induzione e quelle della materia il cui movimento produce il suono.

Fra quei due modi di movimento esiste un legame intimo del quale noi ignoriamo la natura, ma che ci è impossibile negare. Quei movimenti si accompagnano per legge fatale. Le molecole del disco *D* si mettono in vibrazione? Ed ecco che subito appare il movimento magnetico. Per converso, avvenga in virtù di una causa qualunque un movimento magnetico, e subito le molecole del disco si metteranno a vibrare. Oltre a ciò tutte le circostanze, tutti i particolari anche più delicati di uno dei due movimenti, hanno la loro equivalenza nell'altro.

In fondo è una stessa individualità che si metamorfosa come per istinto di conservazione — per poter esistere, vivere in due mezzi, in due mondi diversi.

Questa metamorfosi del suono è resa possibile da una calamita e da un disco di ferro le cui molecole sono immerse nel campo magnetico ed imprigionate dalle linee di forza.

Abbiamo veduto che il grado di deformazione delle linee di forza dipende dalla forma del pezzo di ferro dolce introdotto nel campo magnetico, ma quella deformazione si produce sempre quando il pezzo di ferro dolce — qualunque ne sia la forma — è spostato rispetto alla calamita.

Si comprende dunque come il disco di ferro dolce non abbia punto bisogno di essere completo, rigido, solido, di costituire un solo ed unico pezzo. Può essere frastagliato e crivellato di fori. E non basta; Mercadier ha verificato che sostituendo al disco *D* una limatura di ferro, che va a formare fiocco sulla calamita, il posto trasmissore conserva le sue proprietà. Si può fare la medesima cosa al posto ricevitore senza che il sistema cessi dal funzionare. Le onde sonore scuotono ora le molecole della limatura come scuotevano prima le molecole del disco. Tuttavolta l'intensità (1) del suono trasmesso è diminuita, vale a dire

colore. Se si pizzica la corda di una chitarra, è la corda che si tinge; se si tocca una tastiera l'imagine cromatica sormonta i tasti. »

Aggiungiamo che già nel 1740 il gesuita Luigi Bertrand Castel, in un libro singolare, l'*Ottica dei colori*, pretendeva di aver trovato una analogia perfetta fra i colori ed i suoni supponendo che i sette colori del prisma si riferiscano esattamente alle sette note della musica; secondo lui il *do* risponde al blu, il *re* al giallo, ed il *mi* al rosso e gli altri toni della musica corrispondono ai colori intermedii; ne risulta la seguente scala di musica e di colore: *do*, blu — *do diesis*, verde pallido — *re*, verde brillante — *re diesis*, verde oliva — *mi*, giallo — *fa*, aurora — *fa diesis*, arancato — *sol*, rosso — *sol diesis*, cremisi — *la*, violetto — *la diesis*, violetto blu — *si*, blu d'iride. Non contento di aver stabilito quella analogia di suoni e di colori, il padre Castel tentò di costruire una macchina, il *Clavicembalo oculare*, col quale si potesse sostituire ai suoni i colori, che, secondo il suo sistema, gli apparivano analoghi. Egli affermava che facendo comparire agli occhi quei colori, e facendoli rimanere in vista per intervalli di tempo eguali a quelli spettanti alle note di un pezzo di musica, l'animo riceveva dalla vista successiva di tutti quei colori un'impressione affatto simile a quella che avrebbe ricevuto dai suoni.

(1) Se si scuote più o meno energicamente un diapason, esso manda sempre il medesimo suono, ma l'intensità di quel suono, la sua forza, è tanto maggiore quanto più grande fu la deviazione dei rami [illegible], ciò che equivale [illegible] se si fanno inscrivere le vibrazioni di un diapason scosso in diversa maniera, si nota che le sinuosità del disegno sono tanto più alte quanto più

bisogna avvicinare di più l'orecchio al ricevitore e prestar maggiore attenzione per percepire i suoni. Questo fatto proviene da ciò che la limatura lascia che le linee di forza si orientino liberamente, mentre il disco le obbliga a concentrarsi sovr'esso e le mette in uno stato di tensione molto più atta a favorire e ad ampliare i movimenti. Tuttavia non c'è vantaggio di sorta a scegliere un disco grosso; le esperienze di Mercadier dimostrarono che per ogni telefono si trova una grossezza di disco (ed è di alcuni decimi di millimetro) che dà una intensità massima. Aumentando o diminuendo quello spessore si indebolisce il telefono.

Sin qui noi abbiamo sempre parlato di un disco di ferro, attesochè potevamo credere che il solo ferro possieda la proprietà magnetica. Tuttavia, se al *disco di ferro* ne sostituiamo uno *di rame*, vedremo che il sistema continua a funzionare istessamente. È ciò possibile? Certo che sì, ma ciò richiede una breve spiegazione.

Se, nell'esperimento dello spettro magnetico, si mette sotto al cartone di fronte al polo della calamita una sbarretta di rame, questa non esercita influenza di sorta sulla forma dello spettro, non si calamita affatto sotto l'azione del campo magnetico; a questo riguardo essa è dunque ben diversa dal ferro.

Tuttavia, allo stato dinamico, vale a dire quando la sbarra di rame si muove rapidamente o quando il campo magnetico subisca variazioni, il rame non conserva più la sua neutralità. Spiegheremo più innanzi ciò che allora avviene; per ora ci basti sapere che allo stato dinamico, mercè l'induzione, il disco di rame si comporta, benchè ad un grado assai più debole, come un disco di ferro.

Lo stesso dicasi, sempre per altro a gradi diversi, per tutti gli altri metalli. Per tal ragione Mercadier potè sostituire dischi di ferro e di alluminio ai dischi di ferro D e D' senza che l'apparecchio perdesse le sue proprietà essenziali, l'unica differenza che ne risultò fu questa, che il suono trasmesso era assai più debole che col ferro.

Noi ora comprendiamo perchè il telefono Bell (fig. 59), il quale non è altro che la riproduzione impicciolita, la miniatura di una stazione quale DS, sia formato di una calamita, di un disco di ferro incastonato pel suo contorno, e di un rocchetto il cui filo metallico porta ad un sistema simile — o riceve da un sistema consimile — le onde sonore.

Esso ci appare in parte come una conseguenza razionale dei fatti dell'induzione e dell'acustica, e ci mostra per mezzo di certe sue proprietà che la sola esperienza poteva rivelarci:

1.° Che nel mezzo magnetico possono coesistere, come nei mezzi materiali, vibrazioni di periodi ben diversi;

---

si percepisce bene e più da lontano, il suono emesso. Aggiungiamo che l'intensità del suono dipende anche dal suo «periodo». Più il periodo è breve per una medesima ampiezza più il suono è forte. La fisica non possiede attualmente verun mezzo per paragonare i suoni con un certo rigore dal punto di vista della intensità. L'orecchio, sì delicato, sì sensibile quando si tratta di percepire un movimento vibratorio d'ampiezza infinitesimale e per giudicare con esattezza gli intervalli — vale a dire il rapporto delle altezze dei suoni uditi successivamente o insieme, il che costituisce l'intonazione — è assolutamente inetto ad indicare, sia pur grossolanamente in quale misura un suono è più intenso dell'altro. Perciò siamo ridotti a comparare i suoni per mezzo della loro «portata» e a dire che la loro intensità è tanto maggiore quanto più da lontano si sentono.

2.° Che il legame che unisce le molecole dei corpi a quelle del mezzo magnetico è di una tale delicatezza che l'onda sonora, malgrado

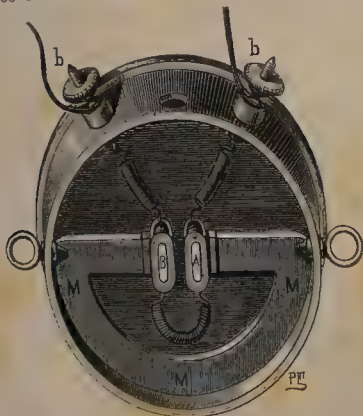



Fig. 75. — Il telefono Gower.

le sue metamorfosi, non soffre alterazione in veruna delle sue qualità essenziali.

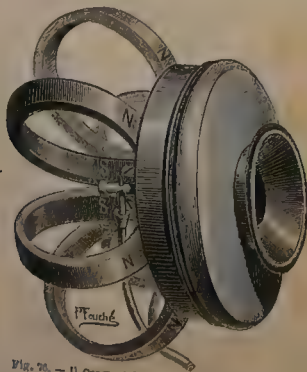



Fig. 76. — Il Crown telefono Phelps (telefono a corona).

Il successo del telefono di Graham Bell diede ben presto origine ad una quantità di forme nuove di telefono. In ogni paese, si è studiato di

perfezionare l'apparecchio originale, di cangiare la forma de' suoi organi in guisa da aumentare l'intensità e la purezza del suono trasmesso.

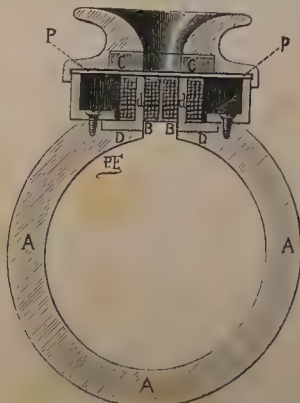



Fig. 77. — Il telefono Ader.

Ma è pur sempre un disco di ferro dolce che vibra in un campo

Fig. 78. — Il telefono d'Arsonvalt.

magnetico prodotto per mezzo di calamite. Nulla v'è quindi da mutare nelle spiegazioni precedenti. Solo la forma della calamita — e per

conseguenza quella delle linee di forza del campo magnetico usufruito — fu modificata.

Non è nostro intento descrivere i modelli numerosissimi in uso nei diversi paesi o relegati nei laboratorii; menzioneremo solo le modificazioni più tipiche, più importanti, che sieno state introdotte nella costruzione del telefono magnetico.

Gower, in luogo di servirsi di una calamita rettilinea, ne adattò una curva MM, come indica la figura 75. I poli A e B, circondati ciascuno da un rocchetto schiacciato, vengono in questo telefono usufruiti entrambi. Si vedono in b, b i serrafili ai quali si attacca il filo della linea che va alla stazione corrispondente.

In uno dei suoi modelli di telefono, Phelps produce il campo magnetico per mezzo di più calamite a ferro di cavallo (fig. 76).

I poli S di quelle calamite formano una corona un po' al disotto della parte centrale del disco vibrante. Il contorno di quel disco è sorretto dagli altri poli N delle calamite. L'insieme raffigura una specie di corona reale, perciò a questo istrumento fu dato il nome di Crown Telefono. Crown nell'idioma inglese significa *corona*.

Ader, nel suo telefono di un modello in oggi notissimo, dispose la calamita in guisa che serva da impugnatura. La calamita A (fig. 77) è un anello d'acciajo brunito. I suoi poli sono costituiti da due pezzi di ferro dolce D i cui prolungamenti dd si internano nei rocchetti B. Al di sopra del disco vibrante P è fissato un anello di ferro dolce CC, chiamato sovreccitatore ed il cui effetto si è quello di aumentare l'azione prodotta sul disco dalle vibrazioni del campo magnetico.

D'Arsonval fa uso di una sola calamita in forma di anello come Ader. Quella calamita (fig. 78) porta in AA un cilindro di ferro dolce che è uno de' suoi poli. L'altra estremità dell'anello è attaccata a vite ad un cilindro vuoto B, pure di ferro dolce. In quel cilindro, che è il secondo polo della calamita, è posto il rocchetto C. Per mezzo di questa ottima disposizione il rocchetto si trova intieramente immerso nel campo magnetico.

Con *telefoni magnetici*, presi ad un tempo quali trasmissori e quali ricevitori, non si può stabilire che la telefonia a piccola distanza.

« Un problema affatto naturale, scriveva Graham Bell nella sua Memoria, poteva presentarsi alla mente: quale è la lunghezza massima di circuito alla quale quelle trasmissioni telefoniche possono giungere?... La risposta è difficile, e difficile in ragione delle diverse condizioni nelle quali si può fare l'esperimento. Tuttavia la massima lunghezza di circuito telegrafico sul quale potei ottenere la trasmissione della parola non oltrepassò 250 miglia. In questo esperimento non sopravvenne nessuna difficoltà, sino a tanto che le linee telegrafiche vicine erano in riposo; ma non appena incominciò su di esso la trasmissione delle corrispondenze, i suoni vocali, sebbene ancora percettibili, diventarono molto meno intensi e si sarebbe creduto di ascoltare una conversazione scambiata in mezzo ad un temporale. »

Che cosa manca dunque a questa specie di telefono?

Una vibrazione magnetica poderosa.

Con qual mezzo otterremo noi una tale vibrazione?

Essa ci sarà data dal *Telefono a pila.*

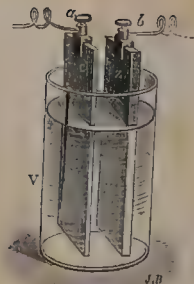



Fig. 79. — Pila voltaica.

CAPITOLO IV.

TELEFONO A PILA.

Nella telefonia a pila universalmente in uso, è ancora un telefono a calamita che serve di Ricevitore: si ascolta con un telefono a calamita, ed è sempre esso incaricato di riprodurre, di restituire la parola. In Francia venne generalmente adottato il telefono Ader per le comunicazioni fra gli abitanti di una stessa città, o quello di Arsonval per le comunicazioni fra Parigi e Marsiglia.

Ciò che costituisce la differenza fra la **telefonia a pila** e la **telefonia a calamita** è dunque il solo **trasmissore**.

Questo trasmissore, dinanzi al quale si parla, il cui compito è quello di raccogliere le vibrazioni della voce e di trasformarle in vibrazioni magnetiche, non è più un telefono a calamita propriamente detto.

È un apparecchio nuovo che consta di due parti distinte.

Noi possiamo attribuire, con esattezza e chiarezza, alla prima parte il nome di ***calamita a pila.***

La **seconda parte** si chiama un microfono (1).

Per far **comprendere** la nostra definizione di *calamita a pila* ci è mestieri di sapere prima che cosa sia una pila.

Benchè teniamo in serbo la teoria della pila, per esporla poi in un altro capitolo, ci è indispensabile chiarire sino da questo momento il senso di certe parole che fanno parte del linguaggio usuale fra gli elettricisti.

Per fissare le idee, scegliamo un caso particolare.

Versiamo in un vaso V (fig. 79) acqua ed un po' d'acido solforico: immergiamo in parte in quel liquido due lamine metalliche (una cop-

(1) Microfono, dal greco μικρός (micros) piccolo e φωνή phonè) voce, suono apparecchio che permette di sentire i suoni più deboli.

pia), l'una di rame C, l'altra di zinco Z. Applichiamo su quelle due lamine due striscie e due pinzette di rame a, b, ed avremo costruito la pila voltaica. In fatti fu così, in ultima analisi, che Volta, professore all'Università di Pavia, compose la prima pila nel 1800, data memorabile negli annali dell'elettricità (1). Le striscie a e b si chiamano estremità o poli della pila. La striscia a attaccata al rame C è il polo detto positivo che spesso si rappresenta col segno + (più), la striscia b saldata allo zinco Z è il polo detto negativo, rappresentato col simbolo — (meno).

Spesso le pile si associano nel modo seguente. Si dispongono in fila una dopo l'altra in guisa che lo zinco Z di una sia di fronte al rame C della seguente (fig. 79) e si riuniscono coi fili metallici b_1, b_2, *i poli contrapposti.*

Rimangono allora due striscie libere alle estremità a_1 e b_3, nel caso della nostra figura; a_1 è il polo positivo del sistema di pile associate, b_3 è il polo negativo.

Questo modo di associazione porta il nome di associazione (accoppiamento, riunione) in serie od in tensione.

Sovente si riuniscono anche tutte le lamine di rame C ad una stri-

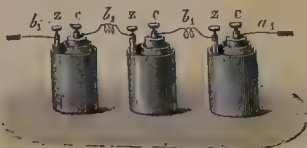



Fig. 80. — Associazione di pile in serie.

scia di rame A e tutte le lamine di zinco Z ad un'altra striscia di rame B.

A e B sono rispettivamente i poli positivi e negativi delle pile riunite. Questo modo si dice associazione (accoppiamento, riunione) in quantità (fig. 80).

Nei singoli casi vi ha luogo ad indagare quale sia il modo di associazione più vantaggioso, se sieno da impiegarsi tutti e due ad un tempo ed in quale misura. Si forma allora una associazione mista (2).

In realtà Volta, come abbiamo veduto, aveva associato un certo numero di pile in serie, sovrapponendo, sempre nel medesimo ordine, dischetti di rame, di zinco e di panno inzuppato d'acqua acidulata.

Quando si attaccano le due estremità di un filo metallico — ed i fili adoperati sono generalmente di rame — ai due poli di una pila (fig. 81) o di un aggregato di pile, il che fa lo stesso, quel filo di-

---

(1) L'apparecchio primitivo di Alessandro Volta (nato a Como nel 1745, morto nel 1827) era formato di rotelle o dischetti di rame e di rotelle di zinco, separate da rotelle di panno imbevuto d'acqua acidulata. Tutte quelle rotelle erano messe l'una sopra l'altra in guisa che davano all'apparecchio l'aspetto di una colonnetta. Infatti la voce latina *pila* significa «piccola colonna.»

(2) Ben inteso quando diremo che ci serviamo di una pila per fare un esperimento, il più delle volte si tratterà, non di una pila unica, ma di una associazione di pile.

venta la sede di una attività speciale che si manifesta per mezzo di effetti svariati che si attribuiscono — senza precisarne bene la natura ed in mancanza di una spiegazione migliore — ad una corrente di elettricità prodotta e mantenuta nel filo *ADB* dalla pila stessa.

Nel modo stesso che si stabiliva un senso per le linee di forza di un campo magnetico (e ciò unicamente per agevolare e precisare la descrizione dei fenomeni) si fissò pure un senso per la corrente elettrica. Si stabilì di considerarla come circolante lungo il filo dal polo positivo (che sarebbe la sorgente della corrente) al polo negativo (che ne sarebbe la foce). Badiamo che questa non è altro che un' imagine comoda, poichè non si vede defluire l'elettricità come si vede defluire l'acqua di un fiume.

Perchè il giro della corrente sia completo si dovrà considerare che

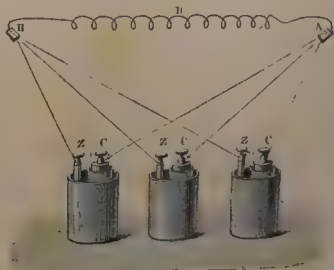



Fig. 81. — Associazione di pile in quantità.

essa, nell'interno della pila, cammini in senso contrario dallo zinco al rame.

Oggidì quelle correnti d'elettricità si producono con pile diverse da quella del Volta, e delle quali faremo rapidamente conoscere la costituzione. Nel 1829, Cesare Becquerel ideava la pila, che il fisico inglese Daniell costituiva poi nel 1836 come segue: lo zinco *ZZ* è piegato in guisa da figurare un manicotto tagliato secondo *MN* ed immerso in parte nell'acqua acidulata con acido solforico contenuta in un vaso *V* di vetro o meglio di gres. Nel cilindro *ZZ* è infilato un vaso di terra porosa *r*, contenente una soluzione di vetriolo di Cipro (solfato di rame) e nella quale viene tuffato in parte un manicotto di rame (fig. 81). Il fisico tedesco Bunsen nel 1843 montava una pila analoga alla precedente, ma colla variente che alla soluzione di rame era sostituito l'acido azotico comune (acqua forte) ed al manicotto di rame un bastone prismatico di carbone. Si badi per altro che quello non è un carbone qualsiasi; lo si estrae dai grandi forni o storte semicilindriche nelle quali si distilla il carbon fossile per preparare il gas illuminante. In questa operazione le pareti dei forni si coprono di un carbone duro e sonoro, che viene polverizzato e quindi agglomerato per pressione in forme prismatiche.

Citiamo anche la modificazione della pila Daniell dovuta a Callaud. In questo modello il vaso poroso è scomparso (fig. 82); il solfato di rame disciolto occupa la parte inferiore BA del vaso, l'acqua acidulata con acido solforico galleggia al di sopra in AD. La lamina di rame è in C, e la lamina di zinco in Z. La pila Callaud è molto usata in telegrafia.

Il filo metallico che si porta in C è protetto contro l'azione dei liquidi della pila da una guaina di guttaperca gp.

Vogliamo menzionare anche alcune altre pile di un vero interesse pratico: la pila a bottiglia, la pila Chaperon e Lalande.

La pila a bottiglia contiene una soluzione di bicromato di potassa

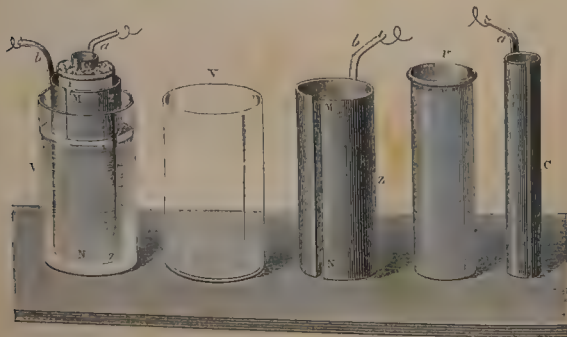



Fig. 82. — Pila Daniell riunita e separata.

e di acido solforico. La soluzione contiene 100 grammi di bicromato e 50 grammi di acido solforico per ogni litro d'acqua. In quel liquido pescano per metà due prismi di carbone PP collegati fra loro da una lamina di rame.

Per mezzo dell'asta T si può far discendere nel liquido lo zinco Z (fig. 83), ovvero estrarnelo. Lo zinco ed i carboni sono portati da un coperchio di ebonite che chiude la bottiglia.

Nella pila Leclanché (fig. 95) lo zinco sta nell'angolo che il vaso forma alla sua destra, e pesca in una soluzione di sale ammoniaco; nel vaso poroso sta chiuso un carbone intorno al quale è agglomerato il biossido di manganese contenuto nel vaso; d'altra parte è in contatto con una soluzione di sale ammoniaco. Questa pila è molto usata per far agire i campanelli.

Nella pila Chaperon e Lalande, usitatissima in telefonia, non vi ha acido. Sul fondo di un vaso di ferro rettangolare e poco profondo (fig. 84) si pone in C del rame ossidato con abbrustolatura all'aria; quel vaso contiene inoltre una soluzione di potassa nella quale è immersa una lamina di zinco ZZ. Il liquido poi è protetto dal contatto dell'aria da uno strato d'olio di petrolio AB.

In poche parole, una pila consta sempre di uno o più vasi contenenti liquidi che variano a seconda del modello impiegato e nei quali sono immersi due bastoni cilindrici o prismatici, l'uno di zinco, l'altro di rame o di carbone. Lo zinco, che è il metallo attaccato, corroso, quando la pila agisce, porta l'asticella di rame che costituisce il polo negativo (—) della pila; ed il rame o il carbone porta l'asticella di rame che costituisce il polo positivo (+) della pila. Le pile, comunque sieno, possono sempre essere associate, come fu precedentemente spiegato, così in serie, come in quantità.

Fig. 83. — Pila Calland.

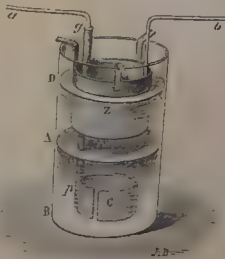
Noi dobbiamo ora portare la nostra attenzione sopra uno degli effetti più singolari della corrente elettrica stabilita in un filo le cui estremità sieno attaccate ai due poli di una pila semplice o di un aggregato qualunque di pile.

Dal dì che i fisici si dedicarono a studiare il magnetismo di una calamita e l'elettricità, essi avevano ben notato che gli aghi calamitati venivano alterati e perdevano persino le loro proprietà sotto l'azione delle scariche elettriche, per esempio della folgore; ma le leggi di quei fenomeni e la forma della relazione esistente fra il magnetismo e l'elettricità erano rimaste affatto sconosciute sino al giorno della scoperta di Œrsted.

Fig. 84. — Pila a bottiglia.

Hans Cristiano Œrsted (1) faceva nel suo laboratorio continui e perseveranti tentativi per scoprire una azione fra una calamita ed un filo attraversato da una corrente; egli disponeva sempre colla massima diligenza il filo ad angolo retto sulla calamita e non vedeva verificarsi azione di sorta.

Un giorno provandosi a ripetere l'esperimento dinanzi ai suoi allievi, alla Università di Copenaghen, dispose per caso il filo parallelamente all'ago calamitato che si mise repentinamente ad oscillare per fermarsi infine in una posizione perpendicolare alla direzione del filo.

Fu il 21 luglio 1820 che Œrsted comunicò a tutta l'Europa il grande fatto del quale aveva arricchito la scienza; la memoria che egli indirizzò a tutte le Società scientifiche porta per titolo: « Esperienze con-

(1) Œrsted, fisico e chimico danese, nato a Rudkjøbing, il 14 agosto 1777, morto a Copenaghen, il 9 marzo 1851. Alcuni mesi prima della sua morte, il 7 novembre 1850, in occasione del cinquantesimo anniversario del suo professorato, i suoi discepoli ed i suoi concittadini gli diedero una prova commovente della loro stima e della loro ammirazione. Sul finire di una festa organizzata in suo onore, fu condotto trionfalmente nel castello di Fasanhof del quale un decreto regio gli assicurava il godimento. Egli non potè entrare in possesso della sua nuova residenza e morì d'una lieve indisposizione al ritorno della primavera. Secondo la frase di Babinet « Œrsted fu il Cristoforo Colombo del magnetismo, del quale Ampère fu il Pizarro e il Ferdinando Cortez. »

cernenti l'effetto del conflitto elettrico sull'ago calamitato. « L'Istituto di Francia elargì ad Œrsted una medaglia d'oro del valore di 3000 franchi per « l'importanza della scoperta dell'azione della pila voltaica sull'ago calamitato. »

Questa fu la prima constatazione scientifica delle relazioni che esistono fra la corrente elettrica e l'ago magnetico. Fu quell'esperimento che condusse Ampère ad occuparsi in modo più completo di quelle re-

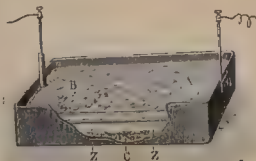



Fig. 85. — Pila Chaperon e Lalande.

lazioni, a stabilire le leggi, a fondare così ciò che si chiama « l'elettromagnetismo. »

Le proprietà magnetiche della corrente così studiate e riconosciute, dischiusero la via ai cercatori, agli scienziati di tutti i paesi, e si può dire, a questo titolo, che Ampère fu uno degli inspiratori più diretti

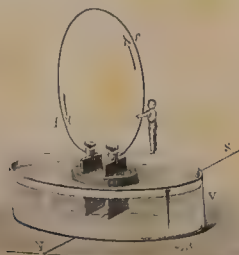



Fig. 86. — Orientazione di una spira unica.

del telefono e di tutte le nostre recenti applicazioni dell'elettricità all'industria.

Studiamo ora gli *effetti magnetici* prodotti da una *corrente elettrica* ed in particolare gli *effetti magnetici* prodotti da ciò che abbiamo denominato la *calamita a pila*.

Questi effetti sono i solo usufruiti in telefonia, e per conseguenza i soli che in questo momento ci debbano interessare.

Attacchiamo le estremità di un filo metallico qualunque *ff* ai due poli di una pila (fig. 86). Quel filo costituisce ciò che si chiama il cir-

Fig. 87. — Ampère studiavasi di comprendere, quando Arago trasse di tasca due chiavi.

cuito esterno alla pila, od anche il filo congiuntivo, perchè collega i poli l'uno coll'altro. La pila forma il circuito interno.

Prendiamo ora una corta bacchetta di legno od un tubo di vetro e avvolgiamo su quella bacchetta o su quel tubo una porzione di filo; avremo così costruito un piccolo apparecchio dal quale possiamo senza inconvenienti ritirare la bacchetta od il tubo che ha servito come forma.

Questo apparecchio *A B*, intercalato nel circuito *ff* possiede integralmente tutte le proprietà di una calamita.

Se può moversi intorno ad una cerniera, esso si orienta e si dispone nella direzione nord-sud (1).

Le sue estremità nord e sud sono attratte o respinte dalle estremità nord e sud di una calamita (fig. 87) secondo che le estremità contraposte portano nomi diversi od il medesimo nome.

Messo alla presenza di un altro apparecchio simile agirà come agisce con una calamita: le sue estremità nord e sud attireranno o respingeranno le estremità nord e sud del secondo apparecchio secondo che le estremità contraposte saranno di nome contrario o del medesimo nome.

Finalmente, coperto con un cartone sottile sul quale si spande limatura di ferro, orienta quella limatura in guisa che questa disegna linee di forza disposte come nello spettro magnetico che abbiamo rappresentato nella figura 63. Il piccolo apparecchio *A B* produce dunque un campo, poichè fa sentire i suoi effetti sopra un certo spazio senza legami visibili, precisamente nella maniera stessa di una calamita.

È forse necessario di spingersi più oltre e di completare l'identità? Ormai non è già evidente che una verga d'acciajo o di ferro dolce introdotta in quel campo diverrà una calamita?

Le variazioni di quel campo non produrranno esse pure effetti di induzione lungo un filo chiuso sopra sè stesso e situato in totalità od in parte in quel campo? L'esperienza conferma quelle previsioni. Questo campo, che per nulla differisce da quello di una calamita, deve di necessità esser detto un campo magnetico.

Se il circuito *ff* viene aperto, tagliato o rotto in qualche punto, im-

(1) La cerniera è costituita da due punte *M* ed *N* disposte nel prolungamento l'una dell'altra e tuffate in due bicchierini pieni di mercurio; questa sospensione delicatissima, che si regola per mezzo della vite *V*, permette all'apparecchio di girare sotto la più piccola influenza.

Ogni spira presa isolatamente si orienta e si dispone (fig. 86) in croce colla direzione nord-sud ed in tale maniera che la corrente sia ascendente nel ramo che si porta ad ovest. Nelle figure 86 e 88 si vede un piccolo personaggio che si chiama il fantoccio di Ampère. Per formolare brevemente e con precisione i diversi movimenti che può assumere un ago magnetico sotto l'influenza di una corrente Ampère stabilì di ricorrere ad una felice finzione. Egli rappresenta la corrente sotto la forma di un personaggio sdrajato sul filo, che riceve la corrente dai piedi e la restituisce dalla testa, e che inoltre tiene gli occhi fissi sul polo nord dell'ago magnetico. In tali condizioni, qualunque sia la posizione relativa del filo e dell'ago, l'esperienza mostra che il polo nord dell'ago calamitato si porta sempre a sinistra del fantoccio.

Quel fantoccio serve pure a caratterizzare le estremità di un apparecchio come sarebbe *AB*. Quale estremità sarà un polo nord? Quale estremità sarà un polo sud? Se il fantoccio è disposto sulle spire in guisa da ricevere la corrente pei piedi e guardare l'apparecchio, l'esperienza mostra ancora che l'estremità nord (o polo nord) è sempre alla sinistra del fantoccio. Ben inteso quel personaggio indicatore non è utile che per precisare gli effetti magnetici di una corrente elettrica. Per esempio, se il filo si avvolge parecchie volte intorno ad un ago calamitato, la sinistra del fantoccio d'Ampère sarà, per ciascuno dei giri, dalla medesima parte e per conseguenza i giri del filo, o spire, combineranno il loro campo magnetico per portare il polo nord da quella parte.

mediatamente l'apparecchio *A B* perde tutta la sua virtù. Esso trae tutta la sua vitalità dalla pila *P.* Senza dubbio quella pila mantiene lungo tutto il circuito *ff'* un campo magnetico (come ci ha mostrato l'esperimento di Œrsted, poichè un ago calamitato viene deviato qualunque sia la porzione di circuito che gli passa vicino, ma è necessario di avvolgere il filo, come fu spiegato, se si vuole ottenere un Campo magnetico paragonabile in tutto e per tutto a quello di una calamita.

Ora non sembra proprio obbligatorio il chiamare l'apparecchio *A B* una « calamita a pila? » « Calamita » perchè può in tutte le occasioni fungere da ago magnetico o da sbarra calamitata « a pila » perchè è

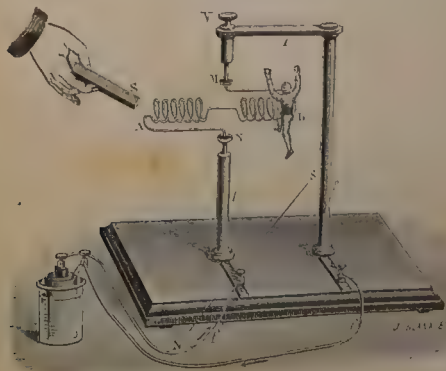



Fig. 88. — Il solenoide ed il fantoccio d'Ampère.

il consumo di zinco che avviene nella pila la causa che produce quella calamita.

E giova ben notare che il filo *A B* può essere di una natura qualunque, di ferro, d'argento, di rame, ecc., senza che la pila per questo cessi dal farne una calamita, mentre precedentemente eravamo circoscritti al ferro ed all'acciajo.

Fu Ampère, illustre fisico la cui leggendaria distrazione eguagliava la profondità della mente, quegli cui è dovuta la mirabile scoperta della calamita a pila, che è l'anima delle grandi scoperte contemporanee e delle applicazioni più utili della scienza.

Ampère aveva chiamato l'elica *A B* un solenoide, dalla voce greca σωλῆνος (solenos) che significa tubo, ed era stato indotto a scegliere quel nome dalla forma a tubo che aveva dato all'elica.

Quando Ampère (1) scoprì nei solenoidi la proprietà di attirarsi o di

(1) Andrea Maria Ampère, nato a Lione il 22 gennajo 1775, nominato ispettore generale dell'Università nel 1808, professore alla Scuola Politecnica nel 1809, eletto membro dell'Ac-

respingersi secondo che i loro poli affacciati sono di nome contrario o del medesimo nome — proprietà che completa irrecusabilmente l'analogia dei solenoidi colle calamite comuni — nel mondo scientifico echeggiò un grido di ammirazione.

« Si ammirò Ampère, scrive Giuseppe Bertrand nella prefazione della sua *Termodinamica*, ed era giustizia; lo si deprezzò, ed era inevitabile.

« — Quando si seppe, diceva uno dei suoi detrattori, che due correnti agiscono sopra una stessa calamita, non era sin d'allora evidente che avrebbero agito l'una sull'altra?

« Ampère cercava di capire, quando Arago si levò da tasca due chiavi (fig. 87) e disse:

« — Tutte due attirano una calamita, e tuttavia non si attirano fra di loro.

« La falsa evidenza svanì. »

Quando le spire, i giri dei fili AB, son stretti gli uni contro gli altri e formano uno o parecchi strati, il solenoide prende il nome di rocchetto.

Il rocchetto possiede le medesime proprietà di un solenoide, ma dà un campo tanto più forte quanto maggiore è il numero dei giri di filo che esso contiene (1).

Insistiamo ora su una delle proprietà particolarmente interessanti della « calamita a pila » ed alla quale fa mestieri accordare una grande

cademia delle Scienze (sezione geometria) il 28 novembre 1814, morto a Marsiglia il 10 giugno 1836 durante un giro d'ispezione generale.

« Nei primi giorni del settembre 1820, disse Cornu nel discorso pronunciato a Lione l'8 ottobre 1888 all'inaugurazione della statua di Ampère, l'Accademia delle Scienze veniva a conoscere il fatto più singolare che fosse stato scoperto in elettricità dopo i lavori di Galvani e di Volta; un fisico danese, Œrsted, aveva trovato che il filo congiungente i poli di una pila voltaica agiva sull'ago magnetico: l'azione, è ben vero, sembrava bizzarra, e lo scienziato danese aveva alquanto offuscato la chiarezza dell'esperimento colle spiegazioni singolari che credeva di mescolarvi.

« Alcuni giorni dopo, Ampère venne a completare quella bella scoperta precisando tutte le condizioni dell'esperimento; pel primo definisce la corrente elettrica, le attribuisce una direzione, la [illegible] e compendia il fenomeno in una regola a giusta ragione divenuta celebre: il polo nord è deviato a sinistra della corrente; l'elettro-magnetismo era fondato. Da quel giorno in poi Ampère applica tutta la potenza del suo ingegno allo studio dell'elettromagnetismo. Ad ogni seduta dell'Accademia, porta nuove scoperte; la sagacia del fisico non ha d'eguale che la sua fecondità.

« [illegible] la reciprocità dell'azione delle calamite sulle correnti, la direzione di una corrente mobile dovuta al magnetismo terrestre, l'azione reciproca delle correnti [illegible] un nuovo ramo della scienza, l'elettrodinamica, e finalmente l'identificazione completa delle correnti e delle calamite.

« In poche settimane avvenne nella fisica una vera rivoluzione: il magnetismo, che si voleva tener [illegible] dell'elettricità, cessava dall'essere un agente distinto: le proprietà magnetiche, [illegible] appannaggio del ferro e dell'acciaio, divenivano un fenomeno generale comune ai conduttori di qualsiasi natura. Ampère scopre nel tempo stesso la forma da darsi a qualunque conduttore per riprodurre il più fedelmente possibile le proprietà delle calamite; questa forma è quella del cilindro elettrodinamico o solenoide, che si costruisce piegando ad elica ed a spire compatte un filo metallico; attraversata dalla corrente, l'elica presenta alle sue due estremità poli di nome contrario: sospesa liberamente essa segna il nord come una bussola, e soltanto che la corrente la anima, nulla la distingue da una vera calamita. »

(1) Se si cercasse di eseguire gli esperimenti succennati sostituendo al filo metallico ff un filo di seta, di guttaperca, di ebonite, ecc., non si produrrebbe nulla. Quelle sostanze non conducono la corrente elettrica, la proprietà magnetizzante della pila. Perciò tutti i fili metallici che servono agli esperimenti sono coperti con una delle sostanze che diconsi *isolanti*: allora si può, senza inconvenienti lasciare che i giri di filo successivi, le spire, che costituiscono un rocchetto si tocchino; la corrente sarà obbligata a seguire il filo, cosa che senza tale precauzione sarebbe impossibile, perchè lo strato dei fili, che non fossero isolati, verrebbe a formare una vera guaina o lamina metallica, le cui proprietà sono ben diverse.

attenzione, poichè è quella che chiarisce, che fa capire il meccanismo della telefonia a pila.

Costruiamo (fig. 89) un rocchetto B, forato secondo il suo asse da un canale nel quale si innesta esattamente la « calamita a pila » B'. Una delle estremità del filo di B' è attaccata ad uno dei poli della pila P, l'altra estremità è riunita alla gamba di un diapason D. Un secondo filo che parte dall'altro polo della pila termina in F, vicino al ramo sinistro del diapason. Il filo del rocchetto B continua svolgendosi in un circuito che passa nelle vicinanze di un ago magnetico a.

Dal momento che, in conseguenza della vibrazione del diapason (che noi supporremo da principio lenta per meglio seguirne gli effetti) il ramo di sinistra viene a toccare il filo F, il circuito della pila si trova chiuso e, per conseguenza, il rocchetto B' vien trasformato in una calamita le cui linee di forza si spiegano nello spazio circostante attraversando il rocchetto B.

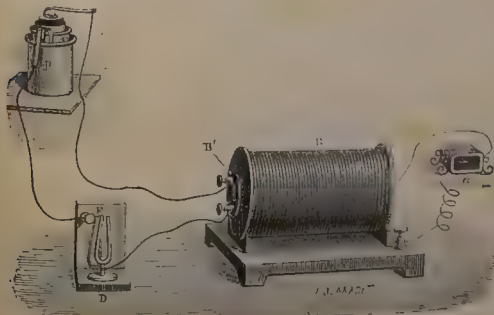



Fig. 89. — Rocchetto di induzione: B', Rocchetto induttore, B, Rocchetto indotto.

La nascita di quel campo — il movimento magnetico che essa produce — induce un campo magnetico lungo tutto il filo del rocchetto B. In fatti si verifica che l'ago indicatore a è deviato in un certo senso.

Ma nel momento in cui il ramo del diapason, facendo ritorno verso destra, cessa dal toccare il filo F, il circuito della pila è rotto, aperto, il rocchetto B' perde la sua virtù magnetica, le linee di forza del suo campo scompajono: da ciò un nuovo campo indotto lungo il filo del rocchetto B. Questa volta l'ago a è deviato dalla parte opposta a quella verso la quale si era precedentemente diretto. Una nuova vibrazione del diapason D produrrà una nuova vibrazione magnetica lungo il filo del rocchetto B.

In conclusione, il mezzo magnetico che si trova vicino al filo del rocchetto B vibrerà col medesimo ritmo che vibra il diapason.

Se il periodo di quel diapason fosse bastantemente corto perchè potesse far sentire un suono, o se si ricevessero le vibrazioni magnetiche del filo B in un telefono Bell più o meno modificato, il disco del te-

lefono vibrerebbe, come fu lungamente spiegato nel capitolo precedente, e riprodurrebbe il suono del diapason.

Il ricevitore, come è noto, ha la facoltà di trasformare fedelmente in vibrazioni sonore le vibrazioni silenziose del mezzo magnetico. Non è compito nostro spiegare ora nuovamente come esso si animi e parli sotto l'azione del movimento magnetico.

La calamita 'a pila B' viene spesso chiamata *rocchetto induttore* ed il rocchetto B *rocchetto indotto*. Il loro assieme costituisce un *rocchetto di induzione*. Quanto abbiam detto in precedenza vale a spiegare codeste denominazioni.

Attaccando rispettivamente ciascuna delle estremità di un filo metallico a quelle del filo del rocchetto, si chiude il circuito di quel rocchetto; e, non occorre dirlo, il filo di chiusura può avere una lunghezza ed una disposizione qualunque.

Il circuito del rocchetto induttore B' dicesi *circuito primario* e quello del rocchetto B *circuito secondario* (1).

Sarà bene ritenere a memoria il significato dei diversi nomi sopra indicati, poichè, compresi per bene, permettono, senza nuocere alla chiarezza, utili abbreviazioni di linguaggio.

Si aumenta assai il campo indotto lungo il circuito secondario introducendo nel rocchetto induttore, che come sappiamo è costituito da una spira vuota nel mezzo, una sbarra di ferro dolce od un fascio di fili pure di ferro dolce, spalmati con una vernice qualunque che li tiene separati.

La ragione è agevole ad afferrarsi.

Arago (2) aveva scoperto che un ago di acciajo, disposto in croce col filo di circuito di una pila, in un punto qualunque, era cambiato in calamita. Ampère riconobbe che era assai più facile fabbricare calamite introducendo la sbarra d'acciajo nel solenoide. (Sostituendo alla sbarra d'acciajo una di ferro dolce essa si calamita sin tanto che rimane nel solenoide; ma estratta non è più calamitata.)

Dopo Ampère l'acciajo sotto forma di verghe o di prismi piatti si calamita con questo metodo: si introduce il pezzo d'acciajo secondo l'asse di un tubo di vetro (fig. 90) sul quale si avvolge un filo metallico rivestito di seta e in questo si fa circolare una corrente intensa. Ora le calamite artificiali si preparano sempre con questo mezzo, rapido e comodo.

Le due eliche magnetizzanti della figura 90 sono avvolte in senso inverso. Cerchiamo ove si dovrà trovare il polo nord della verga d'acciajo calamitata nell'elica A. A tale scopo basta collocare sopra una spira dell'elica il fantoccio di Ampère, in guisa tale che la corrente gli arrivi pei piedi e che esso guardi verso l'interno della spira; l'estremità della verga situata alla sua sinistra è quella che guarderà il nord quando la verga potrà orientarsi liberamente. Quello è il polo nord; ed in questo caso è dalla parte di A.

(1) Circuito, dal latino *circum*: all'intorno, in giro.

(2) Domenico Francesco Arago nato il 26 febbrajo 1786 ad Estagel (Pirenei Orientali), morto a Parigi il 2 ottobre 1853, ricevuto socio dell'Accademia delle Scienze all'età di 23 anni, professore alla Scuola Politecnica e direttore dell'Osservatorio; membro del Governo provvisorio nel 1848, segretario perpetuo dell'Accademia delle Scienze.

Per l'altra elica si troverà invece dalla parte di *B*.

Una verga di ferro così contornata da un' elice o da un rocchetto, si chiama « elettro-calamita » vale a dire calamita fatta dalla elettricità (1).

Ritorniamo al nostro rocchetto di induzione e vediamo ciò che in esso avviene. Nel medesimo tempo che la pila trasforma il rocchetto induttore in una calamita, essa calamita pure il ferro dolce.

Da quel momento il rocchetto *B* si trova ad un tempo sottomesso alle sollecitazioni del campo proprio del rocchetto induttore *B'* ed a quelle del campo relativo al ferro dolce calamitato. E quei due campi combinando i loro sforzi per agitare più profondamente il mezzo magnetico nel quale è immerso il filo secondario, vi inducono un campo più potente che se il rocchetto induttore esistesse solo.

Si può egualmente modificare un rocchetto di induzione avvolgendo

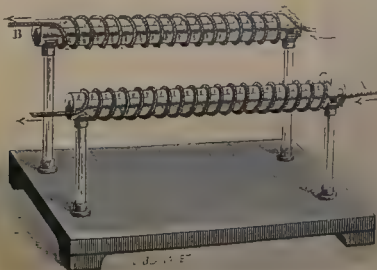



Fig. 90. — Preparazione delle calamite artificiali.

una lunghezza più o meno grande di filo sia sopra *B'*, sia sopra *B* ed avvicinando od allontanando di più quei fili.

Perciò l' ingegnere dispone qui di un certo numero di fattori; esso può scegliere una pila più o meno forte per mettere in azione il roc-

---

(1) Cornu si guardò bene dal dimenticare nel suo discorso questa scoperta le cui conseguenze furono sì feconde per la scienza e per l'industria: « Ampère ed Arago, egli disse, superarono il gran passo che rimaneva da farsi, nel memorabile esperimento in cui i due illustri amici concepirono l'idea di introdurre una sbarra di ferro dolce nell'elica magnetizzante. L'elettro-calamita era inventata!

« Nessuna invenzione, dopo quella della stampa, ebbe maggiore influenza nel mondo di quella della elettro-calamita: essa è l'organo essenziale di tutte le applicazioni elettriche, essa è la base, la pietra fondamentale di tutti i progressi compiuti sino ad oggi.

« Se l'elettricità è la messaggiera rapida e fedele della società moderna, se questo agente misterioso rende i servigi più straordinari e svariati col telegrafo, il telefono, con quelle macchine poderosissime che sembrano aver incatenato la folgore; se noi possiamo trasmettere da un capo all'altro del mondo il pensiero e la parola stessa, come anche la luce e la forza, è all'elettro-calamita, e, in definitiva, al solenoide d'Ampère che noi ne siam debitori: poiché essa è là, dovunque si compie uno di quei prodigi.

« Quando Arago, volendo esprimere l'ammirazione che sentiva per l'opera del suo amico esclamava dinanzi all'Accademia delle Scienze: « Si dice le leggi di Keplero; si diranno le leggi di Ampère, » egli antivedeva il giudizio della posterità.

« Ma la testimonianza suprema di ammirazione gli venne dall'estero, dalla patria di Davy e di Faraday: un illustre scienziato inglese, il Maxwell, ha osato dire « Ampère è il Newton dell'elettricità. »

chetto induttore, può aumentare o diminuire la lunghezza del filo avvolto su ciascuno dei rocchetti B e B', come anche il numero dei fili di ferro che compongono il nucleo introdotto nel rocchetto induttore.

Mediante un opportuno calcolo del rocchetto di induzione, egli può produrre un movimento magnetico lungo tutto il circuito secondario ad una distanza della quale non si può prevedere il limite.

È questa la ragione per la quale la *telefonia a pila* è sì preziosa: essa consente di collegare verbalmente tra esse le stazioni più lontane, cosa che non è possibile colla *telefonia a calamita* propriamente detta, nella quale si domanda tutto l'effetto allo spostamento di un disco di ferro dolce vibrante nel campo di una calamita.

Ora dunque, grazie all'uso del rocchetto di induzione, noi sappiamo

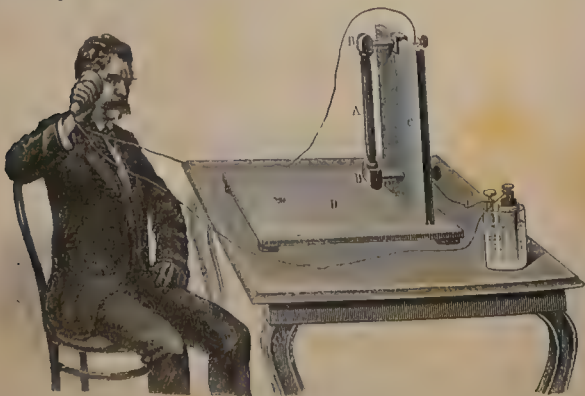



Fig. 91. — Hughes e il suo microfono.

mandare in un ricevitore magnetico situato ad una distanza qualunque ed intercalato nel circuito secondario del rocchetto, le vibrazioni del diapason D.

Ma ciò non basta: non si tratta punto di mandare lontano il suono di un diapason; è la voce umana, la parola, che deve varcare migliaja di chilometri.

Come superare tanta difficoltà?

Sostituendo al diapason un MICROFONO.

Come agisce un microfono? Ora lo vedremo e lo comprenderemo senza fatica. Ritorniamo alla figura 89.

Per far variare il campo magnetico del rocchetto induttore e del ferro dolce che contiene, non è necessario che il circuito della pila sia completamente interrotto, basta, come lo notava Du Moncel (1) nel 1856,

(1) Conte Th. Du Moncel, nato nel 1821, morto nel 1884, ingegnere all'amministrazione dei telegrafi, membro dell'Accademia delle Scienze.

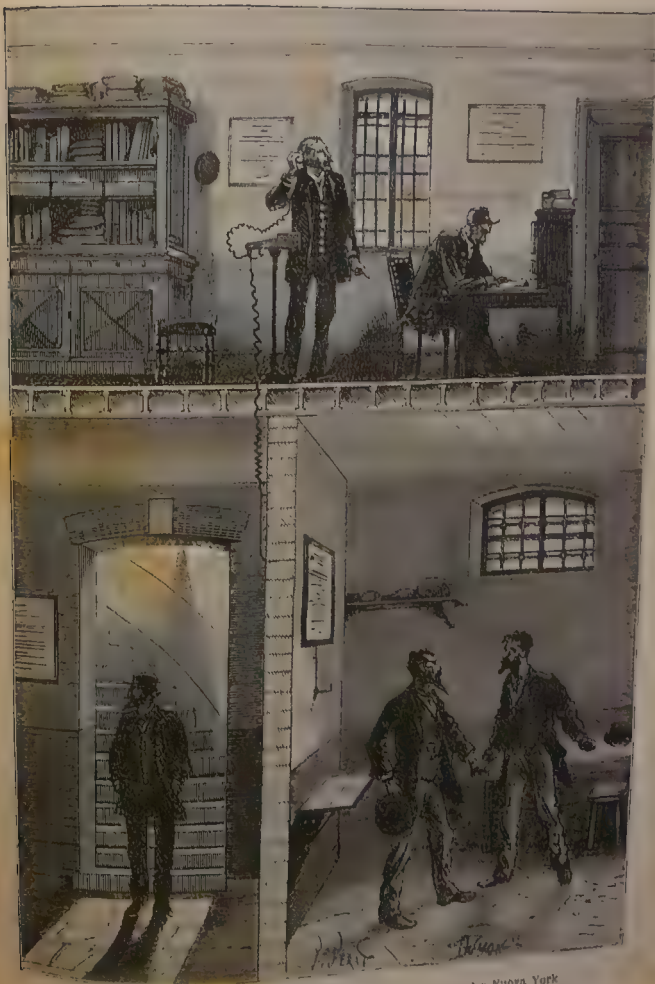



Fig. 92. — « L'Orecchio di Dionigi » o quadro-microfono che servì a Nuova York per iscoprire un delitto.

che il contatto fra due porzioni del circuito, nel caso nostro fra D ed F, varii.

Se la pressione che D ed F esercitano l'uno sull'altro cambia, il campo induttore del rocchetto B' varia: da ciò un campo indotto lungo il circuito secondario.

Tali variazioni si ponno ottenere facilmente, come fece Clérac (1) nel 1865, chiudendo il circuito per mezzo di un cilindro di carbone polverulento agglomerato. Una vite permette di condensare, di comprimere più o meno il cilindro.

Si verifica che un ago magnetico posto vicino al circuito si muove in un certo senso non appena si tocca la vite, se si comprime di più il carbone, in e senso contrario se si diminuisce la pressione iniziale.

Edison, nel 1876, seppe costruire con un tale cilindro sottilissimo e con quella pastiglia di carbone, un trasmissore telefonico.

Si parla davanti un disco o diaframma circolare, disposto sul fondo di una imboccatura svasata, come in un telefono Bell. Fra quel diaframma e la pastiglia di carbone, sostituita al diapason D, trovasi intercalato un bottone di platino o di avorio che preme nel tempo stesso sul diaframma e sulla pastiglia.

Il diaframma viene esso spinto dalle onde sonore? comprimerà, respingerà la pastiglia di carbone grazie al bottone d'avorio che serve d'intermediario, e quella compressione cesserà dal momento che il diaframma ritorna innanzi.

Codeste variazioni di pressione, ritmate sulle onde sonore che le producono, bastano per far agire il rocchetto di induzione e, conseguentemente, per far parlare il ricevitore.

Ciò è veramente straordinario, ma è proprio così.

Nel medesimo anno Hughes (2) scoprì un mezzo di modificare i contatti delle parti contigue di un circuito primario, che è molto più vantaggioso del precedente, e che venne in oggi universalmente adottato nei trasmissori telefonici (3).

(1) Guglielmo Clérac, nato nel 1835, ingegnere ispettore dei telegrafi, incaricato del deposito centrale telegrafico di Parigi, organizzatore della esposizione postale telegrafica all'Esposizione universale del 1889.

(2) D. E. Hughes, nato a Londra nel 1832, inventò in America, a Bardstown (Kentucky), l'apparecchio telegrafico stampatore che porta il suo nome e che a partire dal 1863 viene usato in quasi tutti i paesi dell'Europa.

(3) Avendo Edison rivendicato la priorità della scoperta del microfono, sir William Thomson, uno dei più grandi fisici dell'Inghilterra, membro della Società reale di Londra, troncò la questione con una lettera dalla quale togliamo i passi seguenti:

« Mi piacere che provò il pubblico quando gli fu dato conoscere le mirabili scoperte che sotto il nome di telefono, di microfono e di fonografo hanno destato sì alta meraviglia nel mondo scientifico, venne recentemente a mescolarsi, e molto inutilmente, piacemi il dirlo, uno degli incidenti più deplorevoli che si possano produrre. Si tratta di un reclamo di priorità accompagnato da accuse di mala fede lanciato da Edison contro una persona della quale già da lungo tempo l'opinione pubblica rispetta il nome e la fama.

« Prima di far intervenire il pubblico in questa disgustosa vertenza, il signor Edison avrebbe dovuto evidentemente [illegible] il suo reclamo dimostrando con calma la grande somiglianza che poteva esistere fra il suo telefono a carbone ed il microfono del signor Hughes che lo aveva seguito. Ma col suo violentissimo attacco contro l'Hughes, colla sua accusa di pirateria, di plagio, di abuso di confidenza, tolse agli occhi delle persone competenti ogni credito al suo reclamo. Del resto nulla v'ha di meno fondato di quelle accuse... Gli stupendi risultati ottenuti dall'Hughes col suo microfono, furono da lui descritti sotto una forma tale che è impossibile di mettere in dubbio che non abbia lavorato con idee proprie ed all'infuori di tutte le indagini dell'Edison, indagini ch'egli non aveva il menomo interesse ad appropriarsi.

« È ben vero che il principio fisico applicato da Edison nel suo telefono a carbone e da

Quei trasmissori si dicono « trasmissori microfonici » perchè derivano tutti dal *microfono* di Hughes, che stiamo per descrivere.

Una matita di carbone *A*, assottigliata ai due capi, si appoggia colle sue estremità (fig. 91) su due piccole cavità praticate nei dadi di carbone *BB*, portati dall'assicella *C*. Quest'assicella *C* è piantata perpendicolarmente su una seconda assicella o piedestallo *D* che riposa sopra un tavolo, ed è sorretto da quattro piedini di cauciù, destinati ad arrestare le vibrazioni che il tavolo potrebbe destare nel microfono.

Intercalando il microfono, ben inteso sempre nel circuito primario del rocchetto di induzione, si sentono nel ricevitore situato nel circuito secondario tutti i suoni che colpiscono il microfono.

Le onde sonore, modificando i contatti della matita di carbone coi suoi sostegni, inducono vibrazioni magnetiche che portano quelle medesime onde sonore nel sito ove si trova il ricevitore.

Nella figura 91 il rocchetto di induzione fu tolto.

Infatti l'esperimento riesce collocando la pila, il microfono ed il telefono ricevitore sul medesimo filo, o come si dice, nel medesimo

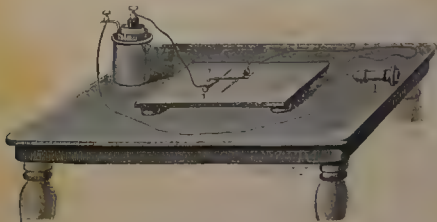



Fig. 93. — Il microfono a chiodi.

circuito. Tuttavia è sempre preferibile il far uso di un rocchetto di induzione; la trasmissione è allora assai migliore.

Se una mosca passeggia sul tavolato del microfono si ha nel telefono la sensazione dello scalpitare di un cavallo: il grido stesso della mosca e sopratutto il suo grido di morte diviene, secondo Hughes, percettibile; lo strofinamento di una barba di penna o di una stoffa su quel tavolato, strepiti affatto impercettibili all'udito, si sentono nel telefono in modo spiccato (1).

Gli è appunto a questa sua proprietà che l'apparecchio Hughes deve il suo nome di *microfono;* esso rende percettibile nel telefono il grido più debole — persino il grido di una mosca!

Il carbone non è punto indispensabile pel microfono, non essendo

---

Hughes nel suo microfono, è il medesimo, ma è altresì quello stesso che aveva impiegato Clérac nel suo cilindro di carbone, che poi aveva regalato ad Hughes e ad altri nel 1866, per usi pratici importanti: apparecchio che, del resto, deriva interamente da quel fatto indicato già da molti anni da Du Moncel, che l'aumento di pressione fra due conduttori in contatto produce una diminuzione nella loro resistenza elettrica. »

(1) *Le microphone*, per Th. Du Moncel, 1882.

esso l'unica sostanza microfonica. Ecco un esperimento di Hughes che lo dimostra:

Si dispongono sopra un'assicella (fig. 93) due chiodi 1 e 2, in relazione coi due poli di pila; un telefono T vien posto fra uno di quei chiodi, 2, ed il polo corrispondente; si chiude il circuito con un terzo chiodo, 3, collocandolo sopra gli altri due. Il più lieve movimento impresso all'assicella, determina un cambiamento nei contatti del chiodo 3 coi chiodi 1 e 2 e per conseguenza una variazione di intensità della corrente. Questa variazione di intensità darà a sua volta origine allo spostamento della piastrina del telefono T.

Se sull'assicella si depone un orologio, se un piccolo insetto vi passeggia sopra, il telefono diventa strepitante. Ma anche facendo astrazione dalla forza degli effetti, il carbone è sempre preferibile perchè inossidabile.

Sotto un'assicella dipinta rappresentante un soggetto qualunque, che abbia in poche parole l'aspetto di un quadro nella sua cornice, si può dissimulare un microfono, i cui fili attraversando le muraglie mettano capo ad un telefono situato in un locale lontano.

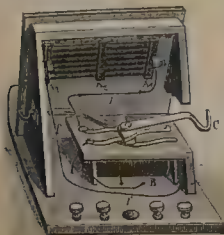



Fig. 94. — Interno del trasmissore Ader.

Con questo mezzo è agevol cosa sorprendere il segreto di una conversazione che avvenga nel sito ove è posto il quadro-microfono. All' Esposizione universale del 1889, un quadro-microfono era esposto colla scritta: « l'orecchio di Dionigi. »

L' « orecchio di Dionigi » ha già servito a Nuova York per iscoprire un delitto (fig. 92).

Due complici, riuniti e lasciati espressamente soli in una cella, scambiarono parole che vennero di subito raccolte dal quadro-microfono (che era in questo caso il quadro ove era esposto il regolamento della prigione) e ripetute dal telefono al capo-guardiano della prigione. Questi dal suo ufficio nel piano superiore, ascoltava e faceva registrare le gravi confidenze dei colpevoli che, senza averne sospetto, si erano traditi.

I trasmissori microfonici consacrati dalla pratica sono un poco più complessi dei precedenti.

Indichiamo da bel principio il trasmissore Ader (1), sì diffuso in Francia e del quale si vede l'interno nella figura 94 e l'esterno e la disposizione nella figura 95.

Sotto la sottile assicella d'abete D, inclinata a foggia di un coperchio da leggio, sono disposti a due a due dodici microfoni Hughes M M. Le estremità di quelle dodici matite di carbone sono inserite entro tre traverse della medesima materia A_1 A_2 A_3 fissate sotto l'assicella D. Le estremità del circuito primario f f del rocchetto di induzione B (che

(1) Clemente Ader, elettricista francese, già appaltatore di ponti e strade, ingegnere dell'antica Società generale dei telefoni.

comprende qui come sempre una pila o meglio un complesso o batteria di pile P) sono attaccate in m ed n. Il filo del circuito secondario si

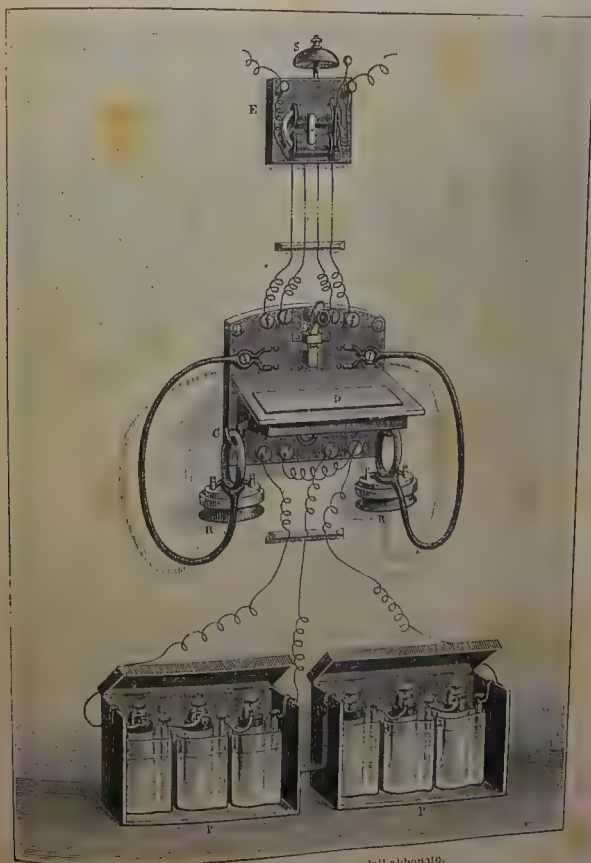



Fig. 95. — Telefono Ader stazione dell abbonato.

porta al telefono ricevitore. I due ricevitori si sospendono a due uncini che si vedono a destra ed a sinistra del leggio, e per sentir bene

si premono leggiermente contro le orecchie. L'uncinetto di destra presenta una particolarità che importa conoscere. Per mezzo di un congegno i cui organi si vedono nella figura 94, ma che interessa unicamente il costruttore e l'ingegnere, l'uncinetto C si abbassa appena vi si appenda un ricevitore, ed abbassandosi rompe il circuito primario, per il che l'apparecchio non può più funzionare. Per converso, appena si stacca dall'uncinetto il ricevitore, una molla rialza l'uncinetto C e chiude il circuito primario: d'ora in poi il trasmissore potrà agire.

Molti fra quelli che possiedono il trasmissore Ader, ignorando siffatta particolarità, si trovano nell'imbarazzo.

Prima di Ader, Crossley aveva costrutto un trasmissore il quale non differisce da quello di Ader che per la disposizione delle matite di carbone (fig. 97). Esse sono in numero di quattro e formano un rombo.

In quel microfono ci sono otto contatti, nella disposizione adottata dall'Ader se ne contano ventiquattro.

Perchè poi quei trasmissori non sono verticali? Si durerebbe minor fatica a parlare dinanzi ad un'assicella verticale, situata all'altezza della bocca, che ad inclinare la testa sul leggìo, come è quello di Ader.

Certamente; ma se le matite sono verticali, l'apparecchio funziona male. Nulla opponendosi a che abbandonino il loro appoggio superiore, prendono movimenti eccessivi, disordinati; cessano ad ogni istante dal toccare sufficientemente il loro appoggio superiore, e ciò dà origine agli stridori che si sentono nel ricevitore.

Disponendo orizzontalmente quelle matite, così come fecero Crossley ed Ader, questo inconveniente è evitato, attesochè il peso dei carboni regolarizza i loro movimenti e li mantiene sui loro sostegni.

Tuttavia, volendo, si può disporre l'assicella verticalmente a condizione, per altro, di sostituire la gravità con una forza che ne faccia l'ufficio.

Si può, per esempio, far uso di molle opportunamente disposte, o mettere a profitto la spinta esercitata dai liquidi, in particolar modo dal mercurio sui corpi a contatto.

Paolo Bert (1) e d'Arsonval (2) superarono la difficoltà in una maniera più ingegnosa. Essi circondano semplicemente le matite di carbone nella loro parte mediana con un piccolo tubo di latta.

Dietro l'assieme dei carboni è posta una calamita la quale, attirando i tubi di latta — che infine non è altro che ferro stagnato — fa sì che le matite appoggiansi contro le traverse che le sostengono. Così sono preservate dagli inconvenienti che risultano dalla loro troppo grande libertà.

Dando alla calamita regolatrice diverse posizioni, è agevole di far variare il grado di libertà delle matite e per conseguenza la sensibilità dell'apparecchio.

---

(1) Paolo Bert, nato ad Auxerre il 17 ottobre 1833, morto ad Hanoi l'11 novembre 1886, dottore in medicina, dottore in scienze, professore alla Sorbona, laureato nel 1875 col gran premio biennale dell'Accademia delle Scienze pei suoi lavori di fisiologia; dopo il 1878, Paolo Bert abbandonò la scienza per la politica; deputato del Yonne, fu nominato, il 31 gennajo 1886, residente generale della Repubblica francese in Annam ed al Tonchino.

(2) Arsenio d'Arsonval, nato a La Borie (Haute-Vienne) l'8 giugno 1851, dottore in medicina, preparatore di Claudio Bernard al Collegio di Francia, incaricato del corso di medicina sperimentale al Collegio di Francia.

Questo trasmissore d'Arsonval, detto a regolazione magnetica, è quello che s'impiega nella telefonia a grande distanza. Lo si vede nelle cabine delle stazioni di Parigi e Marsiglia (fig. 96).

Per gli uffici centrali destinati a mettere in comunicazione gli abbonati di una stessa città, fu adottato il trasmissore Berthon, ingegnere in capo del servizio tecnico dell'antica Società generale dei telefoni.

Fig. 96. — Telefono d'Arsonval: stazione della corrispondenza telefonica dalla Borsa di Parigi alla Borsa di Marsiglia.

Questo trasmissore (fig. 98) consta di due piastre circolari A e B di carbone agglomerato. Queste piastre hanno un millimetro e mezzo circa di spessore e sei centimetri di diametro; sono separate l'una dall'altra da un anello di caucciù C.

Granelli rotondi di carbone — ottenuti spezzando il carbone che si deposita sulle pareti delle grandi storte ove si distilla il carbone fos-

sile per estrarne il gas illuminante, varietà di carbone molto usata in telefonia — riempie un piattellino D di ebonite, meno alto dell'anello C e disposto fra le due piastre A e B.

Quando s'inclina un poco quel piccolo sistema, i granelli vanno ad

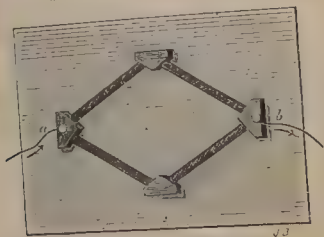



Fig. 97. — Trasmissore microfonico Crossely.

appoggiarsi contro la piastra A, e stabiliscono contatti analoghi a quelli che abbiamo incontrato nei microfoni precedenti.

Il tutto è chiuso in una scatola di ebonite E la cui parte inferiore è tempestata di fori.

Un anello di cauciù H separa la piastra B dal fondo della scatola.

Fig. 98. Trasmissore Berthon-Ader.

Egli è evidente che inclinando più o meno il trasmissore varierà la pressione dei granelli contro il disco A, quindi si capisce come sia la inclinazione dell'apparecchio quella che ne regola la sensibilità. L'inclinazione più favorevole è compresa fra i 45 ed i 55 gradi.

La figura 98 rappresenta un trasmissore Berthon collegato mediante impugnatura metallica ad un ricevitore Ader R. L'impugnatura ha una forma tale che il ricevitore si adatta da sè medesimo all'orecchio non appena si avvicina la bocca al trasmissore.

Questo piccolo apparecchio è tenuto in mano dalle signore incombenzate del servizio telefonico negli uffici centrali.

Eccellenti microfoni, che funzionano mirabilmente, non hanno che un solo contatto.

Descriveremo quello costrutto da Edison nel 1878 e che appartiene a questa categoria, benchè non sia nè il primo di questo genere, nè il migliore, ma perchè sarà impiegato nell'esperimento di *telefonografia* del quale parleremo ben presto.

Quel microfono d'Edison, rappresentato nella figura 100, viene dal « Telegraphic Journal » descritto come segue:

« Quel trasmissore è contenuto in una cassetta rettangolare la cui imboccatura non ha che una lieve sporgenza. Il diaframma di mica D

Fig. 98. — « Le vibrazioni telefoniche, attraversando il corpo di due persone, arrivano all'orecchio dell'uditore... »

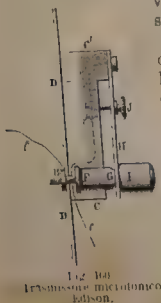
è sostenuto da una cornice e da una molla metallica situata nell' interno del coperchio della cassetta.

« Nel centro di quel diaframma è assicurata con una madrevite metallica B, messa in comunicazione con uno dei poli di una batteria di pile, una squadra di ebonite $c\,c'$, che è incavata davanti alla madrevite in guisa da formare una cavità nella quale viene introdotto un pezzo di matita di carbone $F\,G$. L' estremità F è rivestita di rame, e contro l'estremità G preme una molla di platino H, raccomandata all'estremo C'' della squadra di ebonite. L'estremità di quella molla porta una massa metallica pesante I. La pressione della molla si regola per mezzo della vite J. »

Noi ripeteremo ancora una volta che il microfono trasmissore è qui, come sempre, situato nel circuito primario di un rocchetto di induzione che contiene anche la pila, e che, per converso, il rocchetto del ricevitore fa parte del circuito secondario di quello stesso rocchetto di induzione.

Fig. 98. Trasmissore microfonico Edison.

Il trasmissore telefonico può essere adoperato come ricevitore? Può esso restituire la parola sotto l' impressione delle vibrazioni magnetiche che riceve? In altre parole, è desso reversibile come il telefono a calamita, che può indifferentemente trasmettere o riprodurre la parola?

L' esperienza risponde affermativamente, ma il microfono è un parlatore generalmente fioco ed oltre a ciò assai capriccioso. Non ha la lingua sciolta, se non quando gli pare e piace. Perciò la reversibilità di un microfono non ha ricevuto nessuna applicazione e non è interessante che dal punto di vista teorico.

Del resto quasi tutti i corpi possono servire da ricevitore, se vengono disposti bene. Citiamo a tale proposito il singolare esperimento descritto nel libro di Du Moncel *Il Telefono*. In luogo del ricevitore magnetico, due persone prendono ciascuna in una mano il capo di uno dei due fili provenienti dal trasmissore, poi ciascuna di esse mette un dito della mano rimasta libera sopra un orecchio dell'uditore. È assolutamente necessario che quelle mani sieno inguantate, mentre quelle che tengono i fili devono essere nude. In tali condizioni l'uditore percepirà bene il canto ed anche le parole emesse dal trasmissore (fig. 99).

Le vibrazioni magnetiche attraversano il corpo delle due persone e vanno a toccare l' orecchio dell' uditore, che diventa così il vero ricevitore, poichè in questo caso i contatti degli ossicini disimpegnano il compito dei contatti dei carboni del microfono.

Vi ha un' altra esperienza, pure interessantissima. Questa volta si tratta della trasmissione della parola mediante un telefono semplicemente applicato sopra una delle parti del corpo umano vicina al petto.

« Si è anzi preteso, dice Du Moncel, che tutte le parti del corpo potessero produrre quel risultato; ma negli esperimenti da me eseguiti, non potei ottenerlo che quando il telefono era applicato con forza sul mio petto. In tali condizioni potei farmi udire anche attraverso lo mio

vesti, ma parlando a voce molto alta, il che lascierebbe supporre che il corpo dell'uomo partecipi tutto alle vibrazioni destate dalla voce. In questo caso le vibrazioni sono trasmesse meccanicamente al diaframma del telefono trasmissore, non più dall'aria, ma dal corpo stesso. »

La trasmissione delle vibrazioni ad un telefono può produrre anche effetti di un altro genere e non meno notevoli. Se si applica il manico di un telefono sopra un orologio da tasca, si sente risuonare molto forte il battito dell'orologio. Suoni propagati nella terra vengono agevolmente percepiti, quindi è facile procacciarsi con questo mezzo un orecchio estremamente sensibile che consente, ascoltando per terra, di distinguere da lontano il passaggio di una carrozza, di un convoglio di strada ferrata o la marcia di un esercito.

Non insisteremo sulla teoria del microfono, ch'è ancora molto controversa.

Le variazioni nei contatti provengono esse, come vuole Hughes, da modificazioni recate dalle onde sonore alle vibrazioni che la corrente comunicherebbe alle molecole della sostanza microfonica?

Sono esse dovute, come pensa Berliner, alle variazioni dello strato d'aria interposto ai diversi contatti? L'intervento dell'aria spiegherebbe perchè il carbone e le materie polverulente possono dare buoni microfoni.

Per altri, tutto risulta dal cambiamento di lunghezza, di intensità o di forma delle piccole scintille che scoccano fra le asperità dei contatti microfonici.

Hughes spiega esso pure la funzione ricevitrice del microfono riferendosi al fatto che qualunque circuito manderebbe un suono sotto l'influenza di un campo magnetico vibratorio. Questa sarebbe una proprietà generale. Tuttavia sonvi taluni i quali opinano che le onde sonore risultino da un vero riscaldamento dei contatti, e per conseguenza dell'aria circostante, sotto l'influenza delle vibrazioni magnetiche. L'aria è più scaldata, quindi si dilata per contrarsi poi quando il riscaldamento diminuisce. Quelle dilatazioni e quelle contrazioni si propagano successivamente e danno luogo alle onde sonore ricevute dall'orecchio.

È inutile aggiungere che se due persone sono in conversazione telefonica, si potrà sentire ogni cosa intercalando un ricevitore sul filo metallico, o filo della linea, che riunisce le stazioni ove si trovano i nostri due interlocutori.

Si potrebbe tagliare il filo ed attaccare i due capi risultanti a ciascuno dei fili del ricevitore magnetico che si possiede. Tuttavia ciò non è necessario; basta fare in modo che due fili del telefono a calamita tocchino i due punti del filo della linea, vale a dire, per usare il linguaggio degli ingegneri, basta mettere un ricevitore in « derivazione sulla linea. »

Spesso il telefono è indiscreto. Esso ripete quanto si dice nelle linee vicine a quella di cui fa parte esso stesso. Gli è che allora quelle linee sostengono rispetto alla sua propria, la parte del rocchetto induttore rispetto al rocchetto indotto.

Vi ha, in una parola, induzione mutua fra le linee vicine, e ciò dà luogo spesso ad incidenti disgustosi e bizzarri (1).

---

(1) Ecco un fatto, fra mille, pubblicato dal *Figaro* del 6 luglio 1881.
« Persino il telefono che si immischia nella politica.
« — Ebbene, no, mio caro; seppi testè che Testelin e Tolain stanno per prendere la parola

Alle volte il filo di una linea telefonica fa parlare le diverse parti di una casa sulla quale è impostato.

Citiamo a questo proposito la comunicazione fatta alla Società di incoraggiamento, il 13 giugno 1879, dal signor Crépaux, maggiore del genio a Luneville:

« Vi è a Luneville un impianto telefonico fatto in condizioni davvero primitive. Il filo della linea è un filo di ferro galvanizzato di tre millimetri, molto teso. Esso è assicurato ad un palo al disopra di un granajo e si piega ad angolo ottuso sopra il fumajolo in mattoni del fabbricato vicino, discosto una decina di metri. Naturalmente il fumajolo corrisponde al camino di una stanza del primo piano del fabbricato. Quando si parla nel telefono da una stazione all'altra, non solo parla il ricevitore, e per udirlo bisogna avvicinarlo all'orecchio, ma, fatto inesplicabile, *parla* anche il camino ove si inflette il filo, *parla* il focolare, ed una persona a letto nella camera sente, dal letto, *tutte le parole* trasmesse al filo più distintamente di coloro che all'estremità della linea si servono dell'apparecchio ricevitore. È impossibile di negare questo fatto, perchè ne fui più volte testimonio io medesimo.

« Si isolò il filo dal fumajolo per mezzo di piastre di vetro: tutto fu indarno; non per questo si cessò dal sentire la *parola*.

« Alla stazione più lontana, a 200 o 250 metri circa di distanza, si è riprodotto un caso simile:

« Il filo di terra segue nel suo percorso un tubo di scarico di zinco; quel tubo ha ramificazioni che mettono capo ad alcune pietre d'acquajo: la pietra d'acquajo *parla*.

« Intesi dire che il filo di linea *parlava* ad ogni punto d'attacco, perciò, se gli si fa fare qualche giro intorno ad un chiodo infisso nel muro, il nodo così prodotto *parla*.

---

in Senato. Tu li conosci. Essi non conoscono gli umori del Senato, e vedrai che imbroglieranno le carte. Se essi parlano, io mi ritiro. Tu che ne dici?

« — Impedisci loro di parlare, perchè, in generale, la situazione mi sembra cattiva. Del resto, io corro all'istante al Senato.

« Tali sono le parole testuali che scambiavansi un mattino alle dieci col telefono, due voci, una meridionale e l'altra... lamentevole.

« Questo fatterello ci permette di dire oggi ciò che pensiamo circa il funzionamento di questa mirabile invenzione.

« Se uno dei nostri collaboratori ha inteso così bene il dialogo che abbiamo testè riferito, ciò avvenne perchè, mentre voleva egli stesso parlare ad un suo amico, lo si mise involontariamente in comunicazione non con quell'amico, ma con due personaggi politici che rimarranno di princisbecco apprendendo che nella loro conversazione ci entrava un terzo.

« Ciò non sarebbe avvenuto se il servizio fosse fatto da uomini seri, in luogo di essere abbandonato a dame fantasticanti o a giovanette distratte. »

La spiegazione che dà il giornale non dev'essere esatta; è assai più probabile che ci sia stata semplicemente induzione di un circuito sull'altro. Ciò è probabilissimo, e simili sorprese sono malauguratamente troppo frequenti; sarebbe urgente provvedere e portare a questo stato di cose i miglioramenti necessari.

Altro fatto bizzarro, citato dall'*Electrotechisches Echo*.

Un abbonato al telefono domanda di comunicare col suo medico.

L'Abbonato. « — Mia moglie si lagna di forti dolori alla nuca e di dolori allo stomaco. »

Il Medico. « — Essa ha senza dubbio una febbre forte... »

Intanto si produce un fenomeno d'induzione di un circuito nell'altro, e l'abbonato sente dirsi:

« — Essa è pure probabilmente coperta all'interno di uno strato di parecchi millimetri di spessore. Lasciatela raffreddare durante una notte, e alla mattina, prima di riscaldarla, battetela forte con un martello. Allora lavatela con cura per mezzo di un getto d'acqua sotto alta pressione. »

L'abbonato aveva sentito la risposta di un costruttore di macchine, ch'era stato consultato dal proprietario di un molino a vapore.

« È probabile che il fatto di cui diedi contezza non si produca che nelle vicinanze dei punti d'attacco e di contatto. »

Si può ammettere che un tale effetto sia della medesima natura di quello che si manifesta in un microfono impiegato come ricevitore. Là

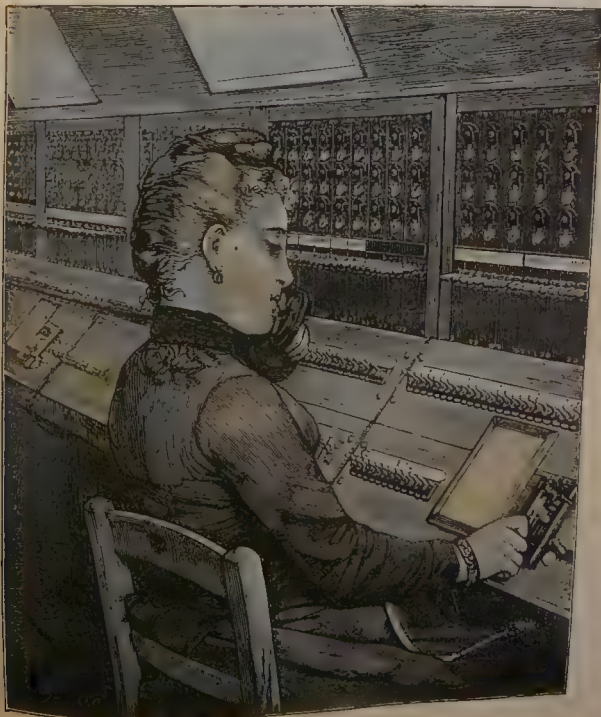



Fig. 101. — Il « posto seduto » inaugurato il 1.° gennajo 1890, all'Ufficio Telefonico del viale dell'Opéra.

si produce nei punti di contatto del filo coi suoi sostegni; qui è nel punto di contatto coi carboni.

D'altra parte la trasmissione delle vibrazioni di quei punti di contatto del filo alle diverse parti di una casa, si spiega col sem-

plice fenomeno del movimento vibratorio molecolare che abbiamo esaminato nel telefono a funicella e nell'esperimento del Lippmann (fig. 56).

Fatto si è che un tale fenomeno parrebbe ancora ben incomprensibile e misterioso alla massima parte dei campagnoli. Si imagina di leggieri lo spavento da cui sarebbero compresi gli abitanti di una fattoria isolata (fig. 106) il cui tetto servisse di punto d'attacco ad un filo telefonico, collegante due città lontane, se tutto ad un tratto, il camino, il focolare si mettessero a *parlare*, nel cuore di una tetra notte d'inverno! Quale risveglio! Quale sensazione di sorpresa e di spavento!

Nella figura 95 abbiam presentato l'imagine dell'assetto generale della stazione particolare di un abbonato al telefono, e nelle figure 101 e 102 due stazioni diverse all'ufficio telefonico del viale dell'Opéra. Diremo incidentalmente che la stazione rappresentata nella figura 102 è riservata ad esclusivo servizio della Borsa; essa non accetta nè trasmette che le comunicazioni della Borsa.

Ci faremo ora a spiegare come si procede per stabilire la comunicazione fra due abbonati; vediamo quale sia la manipolazione che incombe all'abbonato, e quale è quella usata dalle telefoniste nell'ufficio.

Le donne adibite al telefono stanno tutte in fila sopra una stessa linea dinanzi ad un assito alto due o tre metri. Ognuna di esse corrisponde con 50 abbonati. Contro le pareti dell'assito sono applicati due quadri: l'uno comprende i cinquanta « avvisatori » degli abbonati, piastre di ottone trattenute da una cerniera, e che cadono quando l'abbonato preme sul bottone di chiamata; l'altro quadro, situato sotto il primo, comprende una serie di fori chiamati « congiuntori o commutatori a Jack-knife » (1) nei quali le telefoniste piantano i loro bischeri, per mettersi in comunicazione coll'abbonato che chiama e rispondergli.

Finalmente, sotto quest'ultimo quadro, sono stabiliti altri congiuntori o commutatori, che mettono la telefonista in comunicazione colle sue compagne, sia dell'ufficio ove lavora, sia in altri uffici di Parigi.

La riunione di quei cinquanta abbonati e delle trasmissioni colle compagne, forma ciò che si chiama « un gruppo. » Gli uffici contengono venti, trenta od anche quaranta gruppi, secondo la loro importanza.

Vediamo ora come si stabiliscono le comunicazioni. Esse sono di tre sorta: o l'abbonato del gruppo corrisponde con un abbonato del medesimo gruppo, il che succede di rado, poichè gli abbonati sono riuniti in un circolo ristretto; o l'abbonato corrisponde con un altro appartenente ad un altro gruppo, ma dipendente dal medesimo ufficio; o, finalmente, l'abbonato corrisponde con una persona inscritta in un altro ufficio.

(1) Il Jack-knife, vocabolo americano che si traduce « coltello di Jack » è una sottile lamina di molla rettangolare d'acciaio, che si appoggia alla parte inferiore del commutatore. L'inventore di questo ordigno è un francese del Canadà chiamato Jack. La parola « knife » coltello deriva prima di tutto dal fatto che la lamina ricorda la lama di un coltello, poi dal [illegible] dell'annunziatore.

Nel primo caso la telefonista stabilirà rapidamente la comunicazione eseguendo successivamente i movimenti che ora diremo: essa pianta il suo bischero nel commutatore del chiamante ed ascolta e risponde col ricevitore Berthon-Ader, che abbiamo descritto; quando ha ricevuto la domanda dell'abbonato (che le parla dalla propria stazione, sull'assicella *D* del leggìo (fig. 95) e che ascolta coi ricevitori *R* staccati dagli uncinetti *C*), essa chiama la persona che fu reclamata mettendo in giuoco il campanello *E S* della stazione del secondo abbonato; essa si mette in comunicazione con questo, cambia nuovamente i suoi bischeri per mettere i due abbonati in relazione poi per mezzo di congiungitori speciali, rimette le due persone in comunicazione diretta coll'ufficio, in guisa tale che, anche parlando tra esse, possano, volendo, chiamar nuovamente la telefonista.

Sono per lo meno quindici i movimenti che la telefonista deve eseguire in un batter d'occhio.

Nel secondo caso, la telefonista, che deve conoscere gli abbonati di *tutti i gruppi del suo ufficio*, è obbligata a sapere a qual gruppo appartenga la persona domandata. Essa avverte la sua consorella del gruppo *A*, *B* o *C* che si domanda il signor tale dei tali, e la telefonista avvisata stabilisce allora la comunicazione. La cosa si complica se la persona reclamata fa parte di un gruppo dipendente da un altro ufficio. In questo caso la telefonista avvisa un gruppo qualunque di quell'ufficio, e da ciò deriva che la maggior parte delle volte la domanda dev'essere trasmessa ad un gruppo diverso da quello che fu a tutta prima interpellato, essendo un mero caso che la persona reclamata appartenga proprio a quello. Ciò rende ragione di tutte le lentezze che nascono forzatamente da un tale stato di cose.

Frattanto, l'abbonato che chiama, si impazienta, continua a premere il bottone di chiamata *B* (fig. 95) imaginandosi di far per tal modo squillare agli orecchi della telefonista uno scampanio assordante. Nulla di tutto ciò. Appena egli ha compresso il suo bottone, l'annunciatore dell'ufficio è caduto quasi senza rumore, ed ecco tutto. Se continua a premere il bottone, egli non determina che un leggiero strepito, tic, tic, tic, che l'impiegato può bensì percepire, ma che non turba punto il lavoro dell'ufficio come lo turberebbero venti o trenta campanelli elettrici squillanti nel medesimo tempo.

Veggonsi in *PP* due cassette che contengono le pile Leclanché necessarie al funzionamento del posto dell'abbonato.

L'ideale sarebbe di avere un ufficio unico con un apparecchio unico che permetterebbe di far figurare sopra un quadrilatero o sopra un rosone tutti gli abbonati di una stessa città. Essi in questo caso sarebbero serviti più rapidamente di quello che lo sieno i cinquanta abbonati di un gruppo attuale quando non comunicano che fra di loro.

Il direttore delle poste e dei telegrafi francesi, nel corso di un viaggio fatto a Brusselle, a Berlino, ad Anversa, ha studiato gli apparecchi più perfezionati che si conoscano sino ad oggi. Quasi tutti sono di creazione americana. A Cincinnati funziona un apparecchio che serve direttamente 10,000 abbonati. Per mettere immediatamente due abbonati in relazione le telefoniste non hanno da far altro che piantare una spina, o bischero che dir si voglia, in un congiungitore. Gli uffici telefonici francesi verranno tra breve forniti di un apparecchio

di questo genere. Ma allora converrà che gli abbonati si abituino ad indicare il numero e non più il nome della persona che vogliono, poichè le persone non figureranno più sul quadrilatero che col numero di matricola. Le cifre saranno disposte per serie di cento e di mille, in guisa che gli impiegati possano trovarle immediatamente.

In attesa dell'impianto di questo nuovo apparecchio, come pure della costruzione annunziata di un ufficio unico, si rivolse l' attenzione al miglioramento del personale. E qui cade in acconcio di far notare che il tirocinio è lungo e faticoso. Solo per « formarsi l'orecchio » ci vogliono almeno almeno otto giorni. Le direttrici degli uffici sogliono ripetere che per formare una telefonista veramente capace ci vogliono cinque o sei mesi.

Dopo il 1.° gennajo 1890, nell'Ufficio del viale dell'Opéra fu introdotta nel servizio delle telefoniste un' innovazione molto importante. Si tratta del *posto seduto* (fig. 101). Il « posto seduto » riceve soltanto le comunicazioni degli altri ufficii, comunicazioni che ha poi dovere di distribuire nell'ufficio stesso del viale dell'Opéra. Perciò, una volta che la telefonista del « posto seduto » ha inteso la chiamata di uno degli ufficii, essa abbassando una delle piccole leve o *tasti* che le stanno davanti, si mette in comunicazione colla sua consorella del « posto in piedi » incaricata di un « gruppo d'abbonati » e, per mezzo del suo apparecchio Berthon-Ader, le partecipa la domanda dell'ufficio chiamante e le indica in pari tempo il numero ed il nome della linea che essa deve prendere. Esempio: « Su 11, Lafayette, date X. » Alla telefonista del « posto in piedi » non resta altro che chiamare subito l'abbonato richiesto, abbonato che fa parte del suo gruppo, e metterlo in comunicazione.

Nel nuovo impianto, ogni telefonista ha sotto la mano tutte le linee degli altri ufficii. Essa dunque, dopo aver ricevuto la chiamata di un abbonato del suo gruppo, può metterlo in comunicazione coll'ufficio al quale è collegata la persona domandata.

Prima che si introducesse questo sistema, il medesimo servizio richiedeva due telefoniste; la prima che riceveva l'appello degli abbonati ed avvertiva la seconda, questa che chiamava gli ufficii interessati.

Il « posto seduto » dell'Ufficio del viale dell'Opéra è servito da otto telefoniste che bastano per ricevere tutte le domande degli altri ufficii e per trasmetterle alle trentasei telefoniste del « posto in piedi. » Da ciò economia di personale e semplificazione del servizio.

Nei primordii del telefono si pensò che il telegrafo sarebbe stato relegato in seconda linea, ma poi si vide che quei due servizii di corrispondenza potevano funzionare insieme senza disturbarsi, attesochè ognuno di essi serve a bisogni diversi.

Ma se il telefono, considerato come « trasmissione della voce » non può essere surrogato dal telegrafo, può nondimeno divenire anch'esso un ottimo trasmissore di dispacci. Ciò è tanto vero che, mercè una ingegnosa modificazione ideata ed introdotta nell' istrumento da Mercadier siamo al punto di vedere il telefono sostituirsi al telegrafo.

Fra le mani del Mercadier il telefono divenne un telegrafo perfetto che permette di lanciare simultaneamente sino a sedici dispacci sul medesimo filo di linea.

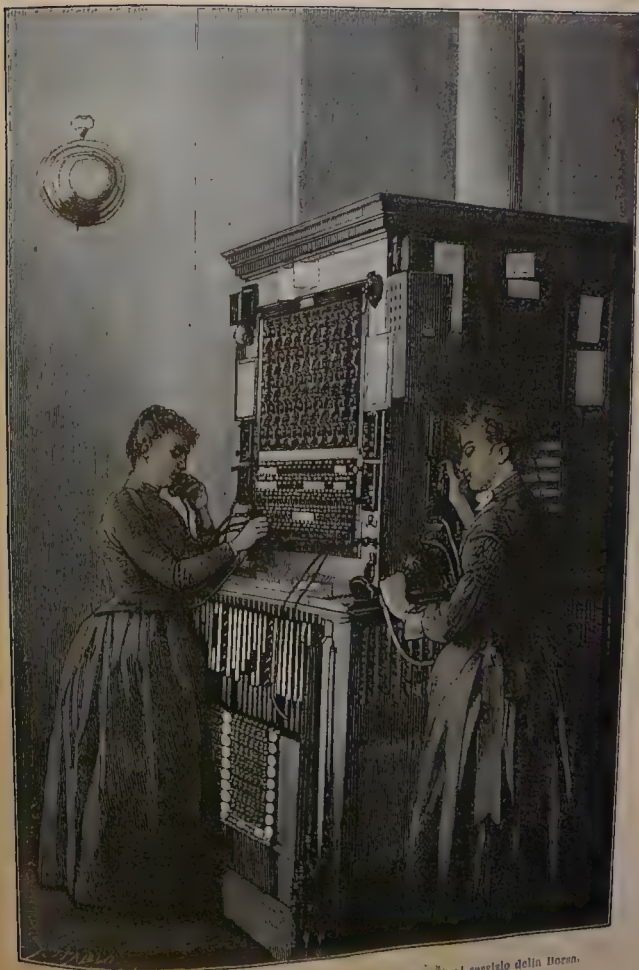



Fig. 102. — Ufficio telefonico del viale dell'Opéra; stazione riservata al servizio della Borsa.

Questo apparecchio, attualmente in esperimento fra Parigi ed Orléans, e che si poteva ammirare nella sezione del Ministero delle Poste e Telegrafi all'Esposizione Universale del 1889, è fondato sul fatto seguente:

Se nei telefoni comuni o « pantelefoni » (1) possono essere riprodotti tutti i suoni, ciò proviene dal fatto che il disco dei ricevitori essendo incastonato pel suo lembo non è libero di vibrare a sua posta, sotto l'influenza della propria elasticità. Per ciò le sue molecole sono messe in moto come le molecole dell'aria da tutti i suoni qualunque essi sieno. Ma se quel disco ha il lembo libero e riposa su tre punti equidistanti disposti sulla circonferenza nodale che corrisponde al suo primo armonico (2) (fig. 103) unico fra i suoni emessi dinanzi al trasmissore, quel primo armonico verrà riprodotto con forza e chiarezza nel ricevitore a disco libero. Quel ricevitore sceglie dunque nel fascio delle vibrazioni magnetiche che gli pervengono, una nota determinata per riprodurla. Se in seguito a quel primo ricevitore se ne trova un secondo predisposto per un'altra nota, esso riprodurrà quella sola esclusivamente. Si ponno dunque moltiplicare i ricevitori « monotelefonici » (3) ed analizzare, separare col loro sussidio, i suoni prodotti davanti al trasmissore.

Se quei ricevitori sono regolati per riprodurre rispettivamente le note sol_3, la_3, si_3, ecc., e se alla stazione che trasmette si son predisposti nel medesimo circuito diversi trasmissori dinanzi ai quali son piantati dei diapason che danno rispettivamente le note sol_3, la_3, si_3... sarà agevole di fare della linea una linea telegrafica.

Supponiamo che l'impiegato incombenzato del diapason sol_3 voglia spedire un dispaccio all'impiegato che alla stazione ricevitrice soprintende al ricevitore sol_3.

Egli premerà sopra una chiave od asta metallica in guisa da chiudere il circuito e mandare il suono sol_3 durante un lasso di tempo più o meno lungo. Il tempo durante il quale si sente successivamente la nota sol_3 nel ricevitore, indica a norma della sua durata le lettere del dispaccio precisamente come le linee più o meno lunghe scritte dal telegrafo Morse.

Gli altri impiegati preposti al la_3, si_3, ecc., potranno, quantunque si servano del medesimo filo di linea, senza il menomo inconveniente comunicare ancor essi coi loro corrispondenti la_3, si_3, ecc., nel medesimo tempo che il sol_3.

Si osserva nel trasmissore del « telegrafo acustico » di Mercadier (fig. 104 e fig. 105) un diapason che manda una certa nota, il la_3 per esempio.

Esso è piantato sopra una cassetta C della quale mette l'aria in vibrazione. In quella cassa riposano, uno per parte del diapason, due piccoli microfoni chiusi in scatole circolari MM. Quei microfoni sono intercalati nel circuito primario di un rocchetto di induzione B. Il cir-

---

(1) Dal greco πᾶν (pan) *tutto* e τῆλε e φωνή: che trasmettono lontano tutti i suoni.

(2) Il primo armonico è quello fra i suoni mandati dal disco, la cui altezza segue immediatamente quella del suono più grave o suono fondamentale del disco.

(3) Dal greco μόνος (monos), *solo*, *unico*; monotelefono: che trasmette in lontananza o riceve da lungi un suono solo.

cuito secondario di quel rocchetto va alla elettro-calamita della stazione ricevitrice *R*, e quella elettro-calamita, nonchè il disco che essa fa vibrare e che è stabilito in guisa da emettere solamente il la_3, è chiuso in una cassetta cilindrica di ottone ben piatta. Abbiam già detto che quel disco riposa su tre punti della circonferenza nodale che corrisponde al suo primo armonico.

L'impianto generale non differisce guari da quello che fu indicato per la telefonia comune.

È chiaro che il suono del diapason è ricevuto in *R* sino a tanto che il filo *f f* della linea è chiuso su sè stesso. Se fosse aperto in un punto,

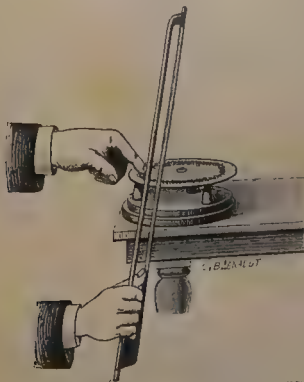



Fig. 103. — Disco rappresentante la circonferenza nodale corrispondente al primo suono armonico.

in *o* per esempio, — come indica la figura 105 — l'impiegato che ascolta nel tubo *T* non ode nulla.

Se l'impiegato che soprintende alla stazione trasmettitrice preme sull'asta metallica o chiave *L*, questa gira intorno ad una cerniera *n* e viene a contatto colla punta *P*.

Da quel momento in poi il circuito *f f* rimane chiuso, ed il ricevitore renderà il suono del diapason, e quel suono durerà per tutto il tempo che la chiave *L* sarà mantenuta in contatto con *P*.

Ma subito che quella chiave non sarà più compressa, una molla la solleverà, il circuito sarà rotto di bel nuovo ed in *R* non si sentirà più suono alcuno.

Si comprende senza fatica come si possa basare su questo fatto un linguaggio acustico.

In luogo di piantare la chiave sul circuito *f f*, si può piantarla anche sul circuito primario del rocchetto *B*, l'effetto è il medesimo. Ciò si osserva appunto nella figura 104 che rappresenta una stazione trasmettitrice composta di tre apparecchi analoghi al precedente. Il primo è

la stazione sol_3 e gli altri la_3 e si_3. Essi mettono capo ai tre ricevitori corrispondenti.

Sarebbe una cosa assai nojosa ed incomoda se si dovesse mettere in vibrazione il diapason della stazione tutte le volte che si ha da trasmettere un dispaccio; perciò si prendono dei diapason animati elettricamente; degli *elettro-diapason*.

Seguendo le nostre parole, si comprenderà agevolmente come l'uso di un' elettro-calamita consenta di mantenere in vibrazione un diapa-

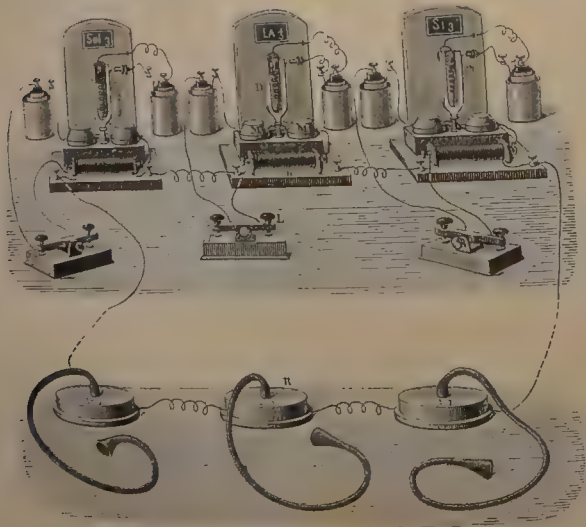



Fig. 104. — Il telefono acustico multiplo di Mercadier.

son in condizioni invariabili e durante un tempo lungo quanto si desidera.

Un' elettro-calamita E (fig. 105) è disposta ad eguale distanza fra i due rami del diapason; si vede in a il nucleo di ferro dolce della elettro.

Il ramo di destra del diapason porta un picciol filo di platino P situato di fronte ad un'asta, pure di platino, che una vite V permette di avvicinare o di allontanare da P. Uno dei capi del filo della elettro-calamita è attaccato alla coda F del diapason e l'altro capo al polo positivo a di una pila P; l'altro polo T della pila è collegato con un filo alla vite V.

Stando così le cose, se il diapason è scosso, e se la vite V è rego-

lata per bene, vale a dire se si trova alla debita distanza da P, continuerà vibrare senza interruzione.

In fatti, quando il diapason si allontana dalla sua posizione di equilibrio verso l'esterno, P e V vengono a contatto, ed il circuito della pila è chiuso, quindi una corrente percorre la via $a\ E\ F\ P\ V\ b$. Passando nell'elettro-calamita quella corrente magnetizza il nucleo G che allora sollecita i rami d'acciajo del diapason a fare ritorno. Obbedendo a questa azione che lo attira, il diapason rompe di nuovo il circuito in PV e ciò annulla l'elettro E. Il diapason continuando a vibrare riceverà ad ogni vibrazione un impulso che gli viene dalla elettro, impulso che riparerà le perdite di movimento da esso subite.

Lissajous, paragonando ed a ragione, l'ufficio sostenuto dall'elettro-calamita a quello dell'archetto mediante il quale si mantengono vive

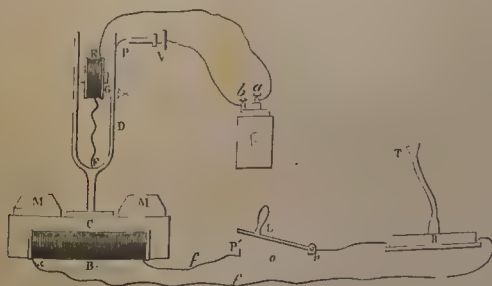



Fig. 105. — L'elettro-diapason del monotelefono.

le vibrazioni di una corda, ha chiamato l'elettro-diapason, di cui fu l'inventore (1857) un *archetto elettrico* (1).

Così dunque riconosciamo che il problema della trasmissione elettrica è in oggi completamente risolto. Il mondo intiero è solcato da una rete di fili telefonici. I fili in servizio agli Stati Uniti, se fossero congiunti capo a capo, farebbero sette volte il giro della terra (duecentottanta mila chilometri); almeno così afferma una statistica americana.

In China, ove la telegrafia non potè stabilirsi causa la moltiplicità

(1) Aggiungiamo che il Mercadier, il quale ideò l'assetto da noi sopradescritto, ha in certi modelli assoggettata l'elettro-calamita E ad una scanalatura lungo la quale può scorrere fra i rami del diapason. Essa in questo caso attira, e attacca i rami del diapason nel punto desiderato; e darà un movimento d'ampiezza tanto maggiore quanto più l'attacco avrà luogo presso le estremità. Generalmente la si colloca al terzo della lunghezza dei rami. In questo modo si possono facilmente ottenere vibrazioni dell'ampiezza di tre millimetri. Oltre a ciò i rami portano ciascuno un peso che può scorrere lungo il ramo. Più quei pesi sono vicini alle estremità del diapason e più lenta è la sua vibrazione.

Questo elettro-diapason è un ottimo cronografo o contatore del tempo per la scrittura. Esso inscrive una sinusoide egualmente spiccata in ogni parte durante tutto il tempo che si desidera, mentre un diapason comune dà una curva la cui altezza delle sinuosità decresce molto, e al punto tale che ben presto riesce difficile il contarle.

Si fa frequentemente uso di questo diapason previamente comparato con un pendolo a secondi quando si deve determinare l'altezza di un suono.

dei caratteri calligrafici (1) la telefonia sembra chiamata ad un rapido sviluppo, tanto è vero che una società telefonica ottenne non ha guari dal Celeste Impero una concessione cinquantennaria per l'impianto di una rete. Il Giappone è uno dei primi paesi che adottarono il telefono. Finalmente, chi lo crederebbe? a Honolulu, capitale delle isole Sandwich, in mezzo all'Oceano Pacifico, esistono e prosperano due società telefoniche: l'Oriental Telephone, e la Mutual Bell Telephone. Quelle due società sorte ad Honolulu, la prima nel 1880, la seconda nel 1884, annoverano fra tutte e due più di 1200 abbonati sopra 18,000 abitanti.

Eccoci lontani dal giorno in cui un maestro tedesco, Reis (2) applicò ad un apparecchio che egli chiamò « telefono » l'osservazione fatta da Henry e Page nel 1837. Quei due fisici americani avevano notato che una sbarra di ferro dolce può mandare un suono sotto la influenza di calamitazioni e scalamitazioni successive, e che l'acutezza del suono è tanto maggiore quanto più breve è l'intervallo di tempo che separa l'interruzione e il ripristino della corrente.

Basandosi su quella scoperta e sul fonautografo di Leone Scott, Reis nel 1861 e 1862 pervenne, ma con somma fatica, a far sentire alcuni suoni musicali a breve distanza.

L'institutore tedesco aveva forse presa la sua voce « telefono » dal vocabolo « telefonia » creato da un francese, il musicista Francesco Sudre (3), ed è pure probabile che Reis abbia avuto altresì cognizione delle idee di un altro francese.

Quest'altro francese era Carlo Bourseul (4) che in una memoria pubblicata nel 1854, negli *Annali telegrafici*, diceva:

« Dopo i mirabili telegrafi che ponno riprodurre a distanza la scrittura del tale o del tal altro individuo, ed anche disegni più o meno complicati, sembrerebbe impossibile lo spingersi più innanzi nelle regioni del meraviglioso. Tuttavia studiamoci di fare qualche altro passo. Io, per esempio, mi son formulato la domanda se la parola non potrebbe essa pure venir trasmessa coll'elettricità; intendo dire, se non sarebbe possibile di parlare a Vienna e farsi sentire a Parigi. La cosa è praticabile, ed ecco il come:

« I suoni, come tutti sanno, sono formati da vibrazioni e portati all'orecchio da quelle stesse vibrazioni riprodotte dai mezzi intermedii. — L'intensità di quelle vibrazioni diminuisce, per altro, molto rapidamente colla distanza, di maniera che, anche impiegando portavoco,

(1) Il grande dizionario chinese pubblicato per cura dell'imperatore Khang-Hi (1654-1722) non ne contiene meno di 43,496.

(2) Filippo Reis, nato a Gelnhausen (Assia-Cassel) il 7 gennajo 1834, morto a Friedrischsdorf il 14 gennajo 1874.

(3) Giovan Francesco Sudre, nato ad Albi il 15 agosto 1787, morto a Parigi il 3 ottobre 1862; musicista, inventore di un sistema di telegrafia acustica cui diede il nome di « telefonia; » egli impiegava certi istrumenti, trombe militari, campana, tamburo, e le note trasmesse da lontano, o gli intervalli decorsi fra i colpi battuti davano alle parole ed alle frasi il loro significato; nel medesimo ordine di idee Sudre stabilì una « lingua musicale universale, mercè la quale i diversi popoli, ed i ciechi, i sordi, i muti potevano rapidamente comprendersi lingua ad un tempo parlata, scritta, occulta e muta. » Ad onta dei molteplici esperimenti, tutti coronati da esito felice, Sudre non potè far adottare il suo sistema, tuttavia il giurì dell'Esposizione del 1855 gli votò una ricompensa di 10,000 franchi, ed il Governo Britannico gli assegnò una pensione vitalizia.

(4) Carlo Bourseul, nato il 28 aprile 1829, ispettore delle Poste e Telegrafi ad Auch e ad Albi, messo in disponibilità nel 1886, si è ritirato a Cahors.

tubi e cornetti acustici, non si possono mai oltrepassare certi limiti molto ristretti. Supponete di parlare presso una piastra mobile, flessibile quanto basta per non perdere nessuna delle vibrazioni prodotte dalla voce, e che quella piastra stabilisca ed interrompa successivamente la comunicazione con una pila, voi potrete avere a distanza un'altra piastra che eseguirà nel medesimo tempo le medesime vibrazioni.

« Egli è vero che l' intensità dei suoni prodotti sarà *variabile* al punto di partenza, ove la piastra vibra per effetto della voce, e *costante* al punto di arrivo, ove la piastra vibra in virtù dell'elettricità: ma è dimostrato che ciò non può alterare i suoni.

« È poi evidente che i suoni si riprodurranno colla medesima altezza che hanno nella scala musicale.

« Lo stato attuale della scienza non ci consente di affermare a *priori* se succederà la medesima cosa per le sillabe articolate dalla voce umana. Non si è per anco studiata a sufficienza la maniera colla quale si producono quelle sillabe. Si è notato, è vero, che alcune si pronunciano coi denti, le altre colle labbra, ecc., ma nulla di più.

« Comunque sia, fa mestieri osservare che le sillabe riproducono all' udito null' altro che vibrazioni dei mezzi intermedii: siate da tanto da riprodurre esattamente codeste vibrazioni, e riprodurrete del pari esattamente le sillabe.

« In ogni caso, dato lo stato attuale della scienza, è impossibile dimostrare che la trasmissione elettrica dei suoni sia un' utopia: tutt'altro! le probabilità sono invece tutte favorevoli.

« Quando si parlò per la prima volta d'applicare l' elettro-magnetismo alla trasmissione dei dispacci, un uomo che occupava un posto eminente nella scienza trattò quell'idea di sublime utopia, eppure oggidì, malgrado quella sentenza, si comunica direttamente da Londra a Vienna mediante un semplice filo metallico. — Ciò non è possibile, si diceva, e lo fu.

« È superfluo aggiungere che dalla trasmissione elettrica della parola nascerebbero immediatamente applicazioni innumerevoli e della massima importanza.

« A meno di non essere sordo e muto, chicchessia potrebbe servirsi di quel modo di trasmissione che non richiederebbe apparecchi di sorta. Una pila elettrica, due piastre vibranti, ed un filo metallico basterebbero.

« In una moltitudine di casi, per esempio nei vasti stabilimenti, si potrebbe con un tal mezzo trasmettere questo o quell'avviso, mentre si rinunzierà ad operare tale trasmissione mediante l'elettricità finchè si dovrà procedere lettera per lettera e per mezzo di telegrafi che richiedono un certo tirocinio e molta pratica.

« Checchè succeda, è certo che in un avvenire più o meno remoto la parola verrà trasmessa a distanza per mezzo dell' elettricità. Io ho incominciato a fare esperimenti in proposito: essi sono delicati e richiedono tempo e pazienza assai, ma le approssimazioni ottenute lasciano intravedere un risultato favorevole. »

Si vede da quella memoria con quale perspicacia Carlo Bourseul antivedeva, sino dal 1854, la soluzione di questo difficile problema che doveva esser sciolto nel 1876.

Infatti fu il 14 febbrajo 1876 che Graham Bell ed Elisha Gray, ingegnere americano nato a Chicago, depositarono ognuno, a due ore di distanza, all'ufficio delle patenti americane la descrizione ed i disegni di un' invenzione per mezzo della quale era possibile di trasmettere la parola.

Se non fossero state omesse certe formalità, l'ufficio si sarebbe pronunciato in favore di Gray, la cui domanda di brevetto conteneva particolari assai più precisi di quella di Bell.

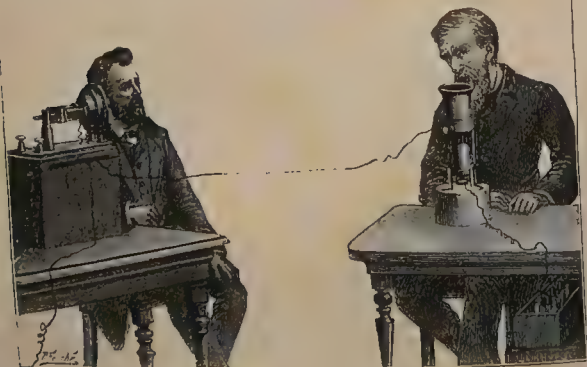
« A tutti quelli che possono averne interesse, scriveva Gray, conviene stabilire che io, Elisha Gray, di Chicago, ho trovato un nuovo

Graham Bell. Elisha Gray.

Fig. 100. — I due inventori corrispondono per mezzo dei loro primi telefoni.

mezzo di trasmettere telegraficamente i suoni vocali. Ed eccone la descrizione:

« Lo scopo della mia invenzione si è quello di trasmettere i suoni della voce umana attraverso un circuito telegrafico e di riprodurli all'estremità ricevitrice della linea, in guisa tale che possano tenersi vere conversazioni fra persone molto distanti l'una dall'altra.

« Io ho inventato e fatto brevettare metodi per trasmettere telegraficamente suoni musicali, e la mia presente invenzione è basata sopra una modificazione del principio della suaccennata invenzione, descritta ed esposta nei brevetti degli Stati Uniti, che mi vennero concessi il 27 luglio 1875, ed inoltre in una domanda da me depositata il 23 febbrajo dell'anno medesimo.

« Per raggiungere lo scopo che mi sono proposto, ho inventato uno strumento atto ad emettere vibrazioni concordanti con quelle prodotte dalla voce umana ed a rendere le vibrazioni stesse ben percettibili.

« Ho rappresentato con disegni un apparecchio contenente i miei per-

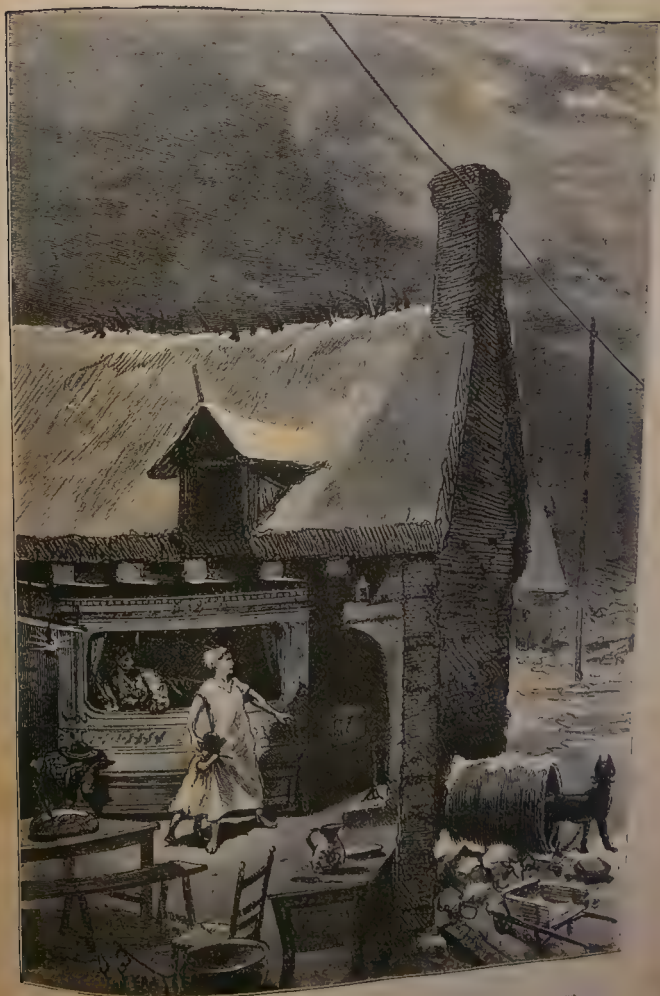



Fig. 107. — Stupore degli abitanti di una casa isolata
il [illegible] camino si mette improvvisamente a parlare nel cuore di una tetra notte d'inverno

fezionamenti senza pregiudizio dei cambiamenti che saranno indicati nella costruzione.

« La mia opinione attuale si è che il metodo più efficace per ottenere un apparecchio capace di emettere i suoni svariati della voce umana, consiste nel tendere un timpano, tamburo o diaframma, attraverso una estremità della cassetta che porta un apparecchio che produce fluttuazioni della corrente elettrica e per conseguenza variante nella sua forza.

« Sul mio disegno la persona che trasmette i suoni è rappresentata parlando in una cassetta, attraverso all'estremità esterna della quale è teso un diaframma di pergamena o di pellicola; a quel diaframma è assicurata un'asticina metallica (che conduce la corrente di una pila), quell' asticina discende sino dentro un vaso la cui parte inferiore è chiusa da un tappo metallico attraverso il quale passa una seconda asticina (a questa si attacca l'altro filo della pila).

« Il vaso è pieno di un liquido, per esempio d' acqua, e siccome la prima asticina non tocca effettivamente la seconda, la corrente deve attraversare un piccol tratto di liquido. Le vibrazioni della voce agitando il diaframma della cassetta fanno salire o discendere la prima asticina e, per conseguenza, fanno variare lo spessore dello strato liquido attraversato dalla corrente.

« Le vibrazioni comunicate in codesta guisa sono trasmesse alla stazione ricevitrice la quale comprende un'elettro-calamita che agisce sopra un diaframma cui è attaccato un pezzo di ferro dolce. Questo diaframma è teso attraverso una cassetta vocale ricevitrice quasi simile alla cassetta del trasmissore. Il diaframma di questa seconda cassetta riceve allora vibrazioni corrispondenti a quelle che si verificano dalla parte del trasmissore e si producono suoni o parole percettibili. »

Da questa descrizione si scorge che l' autore intravedeva l' idea del telefono a pila e del microfono a carbone.

Malgrado questa nota esplicativa, la priorità della scoperta fu aggiudicata a Graham Bell, che rimase per dodici anni l'inventore *legale* del telefono (1).

La lite, che naturalmente doveva nascere da codesta situazione, si prolungò nientemeno sino al 18 novembre 1888, giorno in cui la Corte suprema degli Stati Uniti emanò una sentenza in forza della quale il brevetto di Graham Bell veniva annullato, e la priorità di Elisha Gray finalmente riconosciuta e consacrata.

Ed ora che conosciamo la descrizione del primo telefono di Elisha Gray, vediamo quale fu uno dei primi assetti adottati da Graham Bell. In fondo ad una specie di imbuto, una membrana, tesa mediante una

---

(1) Per una strana coincidenza ed un destino non meno strano, il telefono, che trasmette la parola da lontano, che ha soppresso per essa la distanza, ed il fonografo, che la rende indelebile e fissata per sempre, furono ideati in ambienti ove la *parola non esiste*: in asili di sordomuti.

Infatti, Graham Bell nell'epoca in cui, studiando di perfezionare l'educazione vocale dei suoi pensionarii, scoprì il telefono, era institutore in una pensione di sordomuti a Boston. Egli sperava — esprimiamoci colle sue stesse parole — « di trovare il mezzo di rendere visibile la parola mediante una rappresentazione grafica, ed avere così nelle mani la possibilità di insegnare ai sordomuti la maniera di parlare. »

Carlo Cros, quando ideò il fonografo, che egli chiamava *paleofono*, era ripetitore all'Istituto dei sordomuti di Parigi. Sperava, egli dice sotto forma fantastica, « che i suoi allievi muti avessero a portare l'istrumento ad armacollo con una *provvigione di frasi* per la giornata ».

vite, che porta nel suo centro un'armatura costituita da un disco sottilissimo di ferro; a poca distanza un'elettro-calamita messa in azione da una pila. Quel telefono poteva indifferentemente agire come trasmissore e come ricevitore.

La figura 107 rappresenta un colloquio (imaginario) fra i due inventori per mezzo dei loro rispettivi primi telefoni, apparsi simultaneamente il 14 febbrajo 1876. Le variazioni dello spessore dello strato liquido attraversato dalla corrente, nel trasmissore di Gray, si trascinan dietro le variazioni del campo magnetico dell' elettro-calamita del ricevitore Bell. Da ciò riproduzione della voce per mezzo della membrana tesa.

Abbiam passato in rassegna i principali telefoni che in breve volger di tempo tennero dietro agli apparecchi primitivi di Elisha Gray e di Graham Bell.

La spiegazione del telefono, vogliam sperare che il lettore ne sarà persuaso, fu data completa al possibile. Noi ci proponemmo di dimostrare con questo esempio con quanta diligenza debbansi esaminare in ogni circostanza i particolari di una macchina per giungere a ben stabilire l'ufficio assegnato a ciascuno de' suoi organi. Abbiam pure dimostrato che, per quanto improbabile sembri il successo, bisogna sempre sperimentare, poichè le previsioni logiche rimangono troppo spesso al di qua di ciò che l'esperienza rivela. Fa d'uopo ben comprendere in che cosa consiste ciò che si chiama spiegazione o teoria di un fenomeno o di un meccanismo. Una lunga e paziente osservazione della natura permise agli scienziati di riconoscere che l'immensa moltitudine dei fenomeni che essa ci presenta dipende da quel picciol numero di essi, che ricevettero il nome di fatti fondamentali o fatti principii.

Qualunque nuova applicazione della scienza deve dunque essere analizzata, e sarà spiegata non appena si sarà scoperto da quali fatti principii essa dipenda. Il telefono magnetico, a cagion d'esempio, è una conseguenza del meccanismo vibratorio che fornisce il suono, e delle proprietà della calamita.

Per poter comprendere il telefono era quindi indispensabile imparare prima a conoscere le onde sonore e le qualità delle calamite.

Senza dubbio una tale spiegazione, molto soddisfacente dal punto di vista sperimentale, lascia insoddisfatto l'intelletto che vuol sempre andare al fondo delle cose e scoprirne il mistero.

Perchè il campo magnetico ha quel potere? quale è la sua essenza? quale ne è la causa?

Con ciò noi tocchiamo gli estremi confini della scienza attuale e non possiamo fare che congetture, accumulare ipotesi, costruire dei mondi colla nostra ragione e colla nostra imaginazione. I criterii per decidere dove sia la verità ci mancano.

Quando sarem pervenuti a penetrare la causa intima del campo magnetico e della elasticità, il telefono, e con esso molte altre scoperte, riceveranno la loro spiegazione definitiva.

In quel giorno, la gioja del pensatore sarà ineffabile, ma per consolarsi di non essere già a quel giorno, fa d'uopo dire a sè stessi che l'effetto utile del telefono non sarà allora punto più grande di quello che è in questo momento, nel quale ignoriamo la sua causa prima!

Fig. 108. — Il ricevitore motografo di Edison.

CAPITOLO V.

LA TELEFONOGRAFIA.

IL TELEFONO A LUCE. — IL TERMOFONO.

Abbiamo testè veduto come la scienza seppe risolvere con vera semplicità due grandi e bei problemi che per lungo tempo furono considerati come sogni di mente inferma.

Col fonografo noi sappiamo fissare la voce e riprodurla a piacer nostro, senza alterare alcuno de' suoi caratteri essenziali.

Col telefono sappiamo far pervenire la parola (1) colla rapidità del lampo a distanze delle quali non è ancora possibile fissare i limiti.

Che si otterrebbe combinando fonografo e telefono?

Quale sarebbe il risultato di un accoppiamento opportuno dei due apparecchi?

Mercadier fu il primo che concepisse l'idea di tale combinazione.

(1) Nel Congresso degli elettricisti tenutosi a Parigi nell'agosto 1880 fu proposto, per indicare « una comunicazione telefonica » il vocabolo *Telefema*. Esso viene dal greco [illegible] e [illegible] (pheme): detto, parola.

Questo scienziato dimostrò, per mezzo di esperimenti fatti nei mesi di settembre e ottobre 1888, che il fonografo Edison a foglio di stagno poteva surrogare benissimo un interlocutore e far parlare un telefono. La disposizione ideata da Mercadier è semplice affatto: l'imboccatura di un telefono cui si è tolto il disco vibrante, si unisce a vite all'imboccatura del fonografo antico modello il cui diaframma è di ferro. I poli della calamita del telefono si fanno arrivare molto vicini al diaframma del fonografo. Non appena si fa girare il cilindro del fonografo in maniera da riprodurre le parole o i pezzi musicali che vi sono impressi, quelle parole e quei pezzi si sentono nel telefono della stazione ricevitrice. Senza dubbio codesta riproduzione non è perfetta, essa partecipa dei difetti del fonografo a foglia di stagnola, cioè: « articolazioni smussate, predominio di certe vocali, alterazione del timbro della voce che si traduce con un suono nasale poco gradevole;

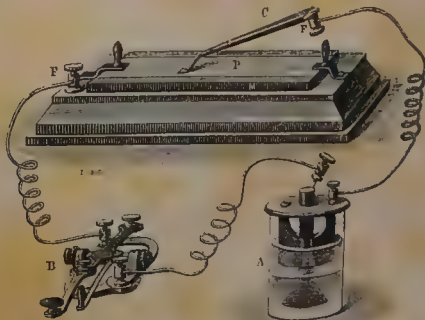



Fig. 100. — Principio fondamentale del Motografo.

ma, scriveva Mercadier, se ne migliorerebbe la qualità facendo uso dei fonografi perfezionati.

Questa conclusione ha ricevuto una conferma notevole in America, il 4 febbrajo 1889.

Gli esperimenti furono fatti sotto la direzione di Hammer, uno dei collaboratori di Edison, e sono descritti coi loro particolari nel *Telegraphic Journal* e nella *Electrical Review* dell'8 marzo 1889. Non solo, come abbiamo detto nel primo capitolo, un fonografo piantato a Nuova York si è fatto sentire ad una distanza di 165 chilometri alle persone riunite in una sala del « Franklin Institute » di Filadelfia, ma le parole e la musica trasmesse poterono anche inscriversi sopra un fonografo a tal uopo preparato all'Istituto.

In questo fatto c'è qualche cosa di più che negli esperimenti di Mercadier, nei quali si stava paghi a spedire per telefono i suoni immagazzinati in un fonografo. Ormai è pienamente dimostrato che se il fonografo fa parlare il telefono, questo a sua volta può scrivere tutto

ciò che gli si confida sopra un manicotto di cera messo alla sua portata. Si capisce quanto debbano essere delicati e perfetti quei piccoli apparecchi ove si effettuano le trasformazioni delle vibrazioni sonore in vibrazioni magnetiche e reciprocamente, ed attraverso i quali passono senza gran fatto alterarsi la musica e la parola umana. Tal fiata quest'ultima è dissimulata nelle vibrazioni silenziose di un mezzo sottile (l'etere), tal altra essa si ritrova nelle vibrazioni strepitose dei mezzi materiali, per esempio dell'aria.

Qual è la natura del legame che stabilisce una dipendenza fra quei diversi mezzi? Gli è ciò che ci sfugge. Ma il legame esiste, e noi lo usufruiamo pel maggior bene dell'umanità.

Ne' suoi esperimenti telefonografici, Hammer fece uso del ricevitore motografo, del trasmissore a carbone e del fonografo perfezionato di Edison.

Ci è mestieri spiegare il modo d'agire del ricevitore motografo (1) ricevitore, ben diverso dai ricevitori telefonici a calamita, e che fu ideato da Edison.

Se si vuole capire bene il principio di questo apparecchio è necessario un esperimento preliminare.

Sopra una lamina di rame *M* (fig. 109) viene steso un foglio di carta bibula *P*, impregnato di potassa e d'acqua (la potassa è una sostanza deliquescente e assorbe l'acqua con facilità grandissima): una lamina di platino, che si può agevolmente far scorrere ajutandosi col manico isolante *C*, preme colla sua parte inferiore sulla carta bibula. Questa al punto d'appoggio è attraversata dalla corrente della pila *A*.

Tenendo la lamina di platino per l'impugnatura *C* e facendola scorrere premendo con regolarità sul foglio *P*, si riconosce che tutte le cause che fanno variare il campo magnetico stabilito dalla pila *A* lungo il circuito, fanno pur variare l'attrito, la resistenza allo scorrimento della lamina di platino sul foglio di carta. Quelle variazioni si sentono benissimo nella mano, e sono chiaramente accusate dalla sensazione muscolare (2).

Bastò questo perchè Edison, che fece quell'esperimento verso il 1872, concepisse subito il pensiero di domandare a quella variazione di attrito ciò che prima si domandava alle variazioni connesse al campo magnetico. Ne risultò l'invenzione di quel ricevitore motografo che è, senza dubbio, la più originale e la più personale delle invenzioni di Edison.

Il ricevitore motografo (fig. 108) non è che l'apparecchio precedente trasformato.

Il foglio di carta bibula è surrogato da un cilindro di calce, penetrato da una dissoluzione alcalina di fosfato di soda idrogenato. La lamina di platino è fissa, ma il cilindro di calce gira toccandola, il che è poi lo stesso.

---

(1) Motografo, « che scrive il movimento; » nome che era stato dato all'apparecchio quando ricevette una prima applicazione alla telegrafia; usato come ricevitore telefonografico, il motografo *scrive il movimento* vibratorio sulla cera del fonografo.

(2) Esse son causate dall'induzione nei pori del platino di uno dei gas dell'acqua che inzuppa la carta bibula. In fatti, la pila decompone l'acqua impura nei suoi elementi; l'idrogeno si porta sul metallo pel quale la corrente esce dalla carta bibula e l'ossigeno sul metallo pel quale la corrente entra nella carta stessa.

Questo apparecchio è disposto come segue (fig. 110 e 111):

Un disco di mica A porta nel suo centro un'asta piatta di ottone H, in cima alla quale è assicurata una sottile laminetta di platino E. Un grosso tappo di cauciù B, obbediente ad una vite F, preme leggiermente quella laminetta sulla superficie del cilindro di frizione C, messo in rotazione da un motore elettrico, del quale si vedono i particolari nella figura 112, coll'intermediario di ingranaggi e di un'asta G. Si comprende senza fatica che, in conseguenza dell'attrito che nasce fra il cilindro C ed il platino E, il cilindro trascina EH, e quindi anche il disco di mica A. Quella forza di trascinamento segue le variazioni della corrente elettrica che attraversa le due superficie in contatto; per conseguenza, siccome gli spostamenti del disco alternativamente aumentano e diminuiscono in uno colla corrente, il disco sarà messo in vibrazione. L'ampiezza di quelle vibrazioni sarà tanto più grande quanto maggiore sarà la forza colla quale la vite F preme le superficie E e C una contro l'altra. Quella vite F serve alla rettifica di questo apparecchio adatto in particolar modo a parlare ad alta voce, vale a dire a vibrare con una grande ampiezza.

Fig. 110.
Sezione del meccanismo del motografo.

Esaminiamo ora l'assetto dell'esperimento di Hammer.

Nella parte superiore della figura 113 è rappresentata la stazione di Nuova York. Una persona parla o canta in un tubo in guisa da inscrivere i suoni sul fonografo perfezionato P. Questo ripete i suoni nel trasmissore a carbone T attraversato dalla corrente che viene fornita da un aggregato o batteria di pile p, p; quella corrente passa egualmente in uno dei fili T_1 T_1 (filo induttore) di un rocchetto B. Il secondo filo (filo indotto) b_1 b_1 di quel rocchetto viene continuato dalla linea che va a Filadelfia. Una porzione MN di quella linea è sotterranea per una tratta di sei miglia, vale a dire di dieci chilometri circa.

Fig. 111.
Disposizione del motografo.

La stazione di Filadelfia (fig. 113; basso) è un po' più complicata. La corrente fa prima di tutto parlare il ricevitore motografo E; le onde sonore prodotte vanno ad imprimersi sopra un fonografo P che le restituisce ad un trasmissore a carbone T impiantato, come a Nuova York, con rocchetto B e pile p, p.

Finalmente le onde sonore partono da un ultimo motografo E e si fanno udire da tutta l'assemblea senza che sia necessario di applicare al motografo nessuna specie di cornetto acustico (1).

Gli è per tal mezzo che, nel nostro esperimento ideale descritto al principio di questo volume, fu dato agli abitanti della Martinica di

(1) Hammer affermò all'autore di questo libro, l'8 ottobre 1889, che il motografo poteva farsi sentire benissimo da una assemblea di 4 a 5000 persone.

udire la parola dei loro deputati patrocinanti, al palazzo Borbone, gli interessi della Colonia. (Ciò per altro si è effettuato sostituendo al tubo nel quale parla il personaggio della figura, un microfono disposto sulla tribuna dinanzi all'oratore e destinato a raccogliere i suoni; i quali si portano poscia in un primo motografo che li inscrive sul fonografo della stazione di partenza.) Gli è in codesta maniera che le voci degli oratori hanno potuto attraversare le profondità dell'Oceano sopra un'immensa distanza e fissarsi sul manicotto di cera di un fonografo, testimonio più imparziale di qualunque stenografo, e fatalmente obbligato di rendere agli elettori un conto fedele dei discorsi dei loro eletti.

Senza dubbio la linea telefonografica « Palazzo Borbone-Forte di Francia » non è punto *ufficiale*. I cordoni sottomarini fanno orecchia

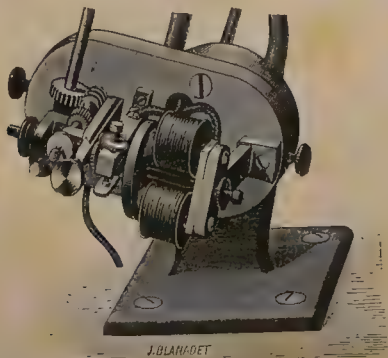



Fig. 112. — Motore elettrico del motografo.

sorda, e divorano le piccole correnti telefoniche; molti problemi difficili e delicati sono ancora da sciogliere.

Ma se si rammenta che la vera scienza elettrica non ha ancora cento anni e se si considerano i prodigi che ha già dati alla luce, si vede che tutto si può aspettarsi dalla sua fecondità e dalla sua mirabile potenza.

Non ci staccheremo dalla preziosa invenzione del telefono senza menzionare certi fatti estremamente singolari che offrono alla telefonia un nuovo ed immenso orizzonte e che faranno comprendere come si sia potuto concepire l'idea del Telefoto.

Un filo di linea è lungo a mettersi in opera, molto costoso e di più agevole da tagliare.

Se si potesse surrogarlo! Ma come e con che?

Ed ecco che si è pensato di sostituire al pesante filo metallico un imponderabile raggio di luce.

La luce non è essa forse, come l'elettricità, una messaggera velocissima?

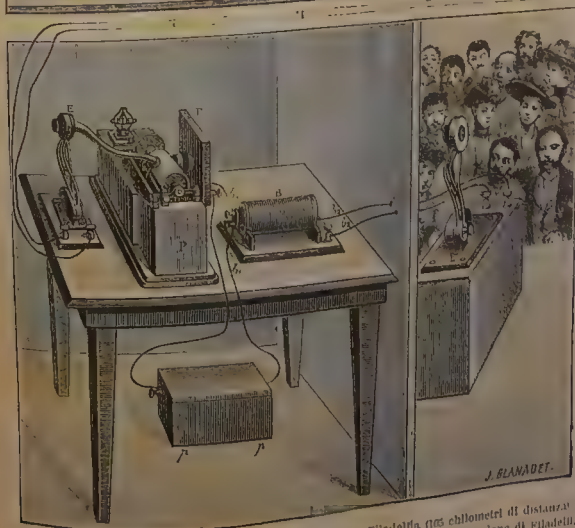
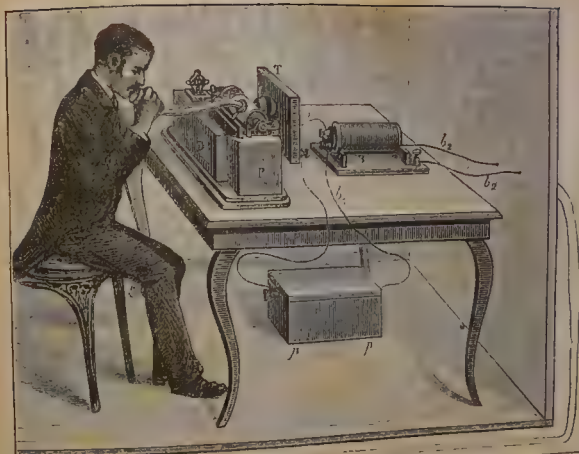



Fig. 111 — Trasmissione telefonografica da Nuova York a Filadelfia (105 chilometri di distanza). Disposizione dell'esperimento di Hammer. — La stazione di Nuova York e la stazione di Filadelfia.

Messaggera che, secondo le esperienze di Fizeau e quelle più recenti di Cornu, percorre circa trecentomila chilometri in un secondo.

Forse che non si san produrre potenti fasci luminosi usufruendo il sole, l'arco elettrico, ecc.? Non è forse agevole il mandarli lontano, molto lontano, e dirigerli a piacimento, e prestissimo, verso quella stazione che si è scelta, mercè una combinazione opportuna di lenti e di specchi riflettori?

Chi non ammirò durante l'Esposizione universale del 1889 la velocità colla quale il fascio di luce del faro della torre Eiffel percorreva orizzontalmente il cielo di Parigi? Come il fascio degli specchi projettori saliva o scendeva per illuminare il Panteon, l'Eliseo, la cupola degli Invalidi, la fontana monumentale, e persino i visitatori appostati ai piedi della torre?

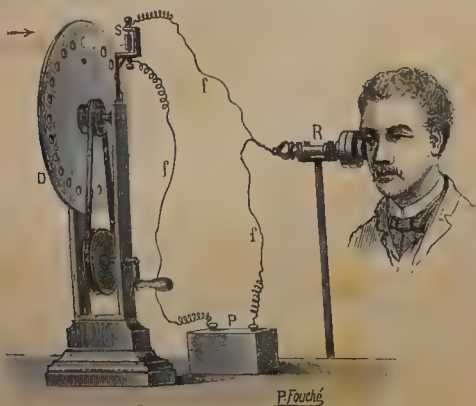



Fig. 111. – Principio fondamentale del telefono ottico.

Si capisce senza fatica come un tal fascio di luce possa servire a produrre segnali il cui senso fu stabilito a priori. Occultandolo, per esempio, durante tempi variabili, si costituisce un vero linguaggio, analogo a quello del telegrafo Morse, nel quale la lunghezza delle linee è surrogata dalla durata della luce. Si prendono per ischermo le nubi che si librano nel cielo e si producono su quelle nubi i segnali luminosi.

È sta bene, ma come si potrà obbligare quel fascio di luce a trasportare la voce umana?

Come dare la parola a quei raggi?

Si potrebbe cercare a lungo e sempre frustraneamente.

Se non che, ecco qua un fatto che ci permetterà di far parlare la luce, di far *sentire* le sue variazioni di splendore.

Poniamo un pezzo di selenio S (fig. 114) opportunamente preparato (1) nel circuito di una pila P, e facciamo cadere su quel selenio un raggio di luce che arresteremo e lascieremo alternativamente passare giovandoci di un disco opaco D munito di fori disposti sopra una circonferenza e che supporremo equidistanti.

Noi chiameremo questo apparecchio una sirena-ottica; i buffi d'aria

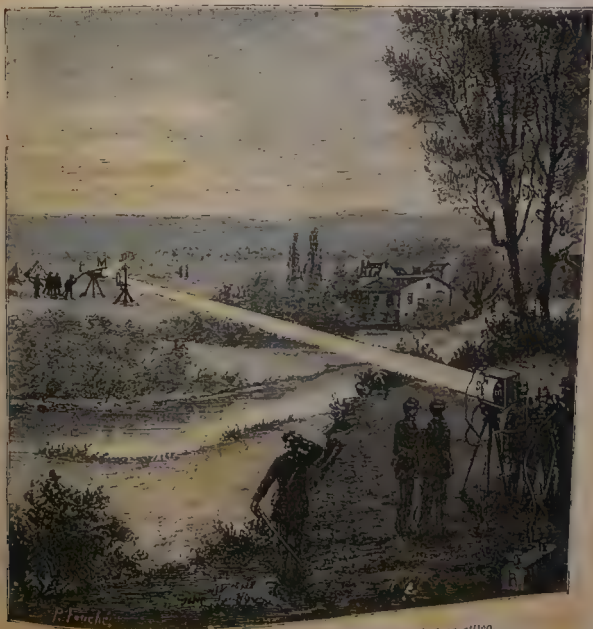



Fig. 115. — Posti militari comunicanti per mezzo del telefono ottico.

della sirena fonica precedentemente descritta sono qui surrogati da buffi di luce.

(1) Il *selenio*, scoperto dal chimico svedese Berzelius nel 1817, presenta grandi analogie col solfo. Si trova selenio nel solfo delle isole Lipari (arcipelago del Mediterraneo), in certi solfuri di Svezia e di Boemia. Il selenio è un corpo solido che, come il solfo, può presentarsi sotto diversi stati: vitreo, in fiocchi rossastri detti « fiori di selenio, » in pagliette cristalline di color grigio d'acciaio. Quando si scalda il selenio, già ridotto allo stato di « fiori di selenio » che furono raccolti, seccati, poi fusi, si ottengono piastre formate da piccolissimi cristallini incastrati gli uni negli altri, di apparenza metallica, non lucida, color di piombo. È questo selenio cristallizzato che possiede la proprietà della quale ci occupiamo.

Ogni volta che il selenio è illuminato più vivamente, il campo magnetico dovuto ad una corrente che circola nel filo ff aumenta, per diminuire appena lo splendore si indebolisce (1).

Per conseguenza, se il disco D gira con un movimento di rotazione regolare, uniforme, ed in guisa tale che in un minuto secondo avvengano 435 interruzioni del fascio illuminante, si avranno 435 vibrazioni prodotte nel campo magnetico del circuito.

Ora, un ricevitore telefonico è l'indicatore per eccellenza delle vibrazioni rapide di un campo magnetico, vibrazioni che esso trasforma in suoni.

Un ricevitore telefonico R situato nel circuito ff (o in un circuito vicino) emetterà quindi la nota la_3, che corrisponde precisamente a 435 vibrazioni complete in un minuto secondo.

Senza dubbio, se il disco gira più veloce, il ricevitore R darà una nota più acuta, e, per converso ne darà una più grave se gira più lentamente.

Questa proprietà del selenio (che altri corpi possiedono del pari) fu scoperta nel 1873 da May, Villoughby Smith, e fu studiata da Sale, Graham Bell, Mercadier, ecc.

Ora, è naturale di domandare all'esperienza se il fenomeno è sufficientemente sensibile per essere usufruito nella riproduzione della voce, e se è possibile di imprimere ad un raggio di luce tutti gli elementi delle vibrazioni della parola, senza che si molestino mutuamente.

L'esperienza rispose affermativamente, ed in questa maniera si potè corrispondere fra stazioni distanti parecchie centinaja di metri.

A tal fine basta parlare in un tubo t (fig. 115) la cui porzione dilatata è chiusa da un disco di mica M, inargentato esteriormente e che riflette un poderoso fascio di luce O diretto sopra di esso.

Quel fascio è reso cilindrico obbligandolo a passare attraverso una lente opportunamente situata. In questo modo la luce non si disperde inutilmente nello spazio, essa va a colpire uno specchio curvo m che manda infine i raggi sul pezzo di selenio S, del quale abbiam già spiegato l'ufficio. Le deformazioni dello specchio M sotto l'azione delle onde sonore sono sufficienti per far variare corrispondentemente lo splendore, l'intensità del fascio e per conseguenza il campo magnetico del circuito stabilito dalle pile P. In fatti nel ricevitore si sentono le parole pronunziate in t.

Il selenio S è realmente un microfono ottico, e l'assieme dell'apparecchio: un TELEFONO A LUCE, un TELEFONO OTTICO.

La figura 115 rappresenta due stazioni militari collegate da un raggio di luce e che comunicano per quel canale impalpabile.

Mercadier andò più innanzi; riuscì a sopprimere il selenio, la pila, il telefono e costituire un ricevitore semplicissimo che chiamò TERMOFONO (2), attesochè in questa circostanza la luce agisce in virtù del suo solo calore.

Codesto ricevitore R (fig. 116) è una cassetta piena d'aria che con-

---

(1) Questa azione della luce sull'elettricità (o se si vuole sulla corrente elettrica che produce il campo magnetico usufruito) è lungi dall'essere unica, ma è la prima relazione che noi incontriamo fra quei due agenti.

(2) *Termofono*, dal greco θερμη (therme) calore; e φωνη (phonè); voce, suono.

tiene una laminetta di mica (1) affumicata m sulla quale cade il fascio di linea L.

Le variazioni di riscaldamento dell'aria nella scatola sono prodotte dalle vibrazioni sonore emesse alla stazione trasmettitrice, stazione simile a quella che abbiamo testè descritta. In fatti, sotto l'azione di quelle vibrazioni sonore, il disco di mica argentato si deforma, diviene successivamente concavo e convesso; ne risultano cambiamenti nell'espansione del fascio, variazioni nella sua intensità.

Fig. 116. Termofono ricevitore.

Quelle variazioni bastano per produrre dilatazioni e contrazioni dell'aria chiusa nella scatola: le quali mettono in vibrazione il disco del ricevitore R e, per conseguenza, restituiscono il suono.

E v'ha di più; in certi casi, basta ricevere direttamente il fascio nell'orecchio per percepire il suono.

Tali sono i fatti sorprendenti che provano con quale rapidità si effettuino gli scambii di luce o di calore. Noi li abbiamo segnalati non solo per farli servire di preambolo al *Telefoto*, ma altresì per mostrare quanto numerosi sieno i fenomeni che, a nostra confusione, proclamano l'esistenza del mondo invisibile.

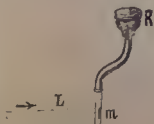
Quale lavoro rimane da compirsi prima che la fisica abbia completamente toccata la sua meta, che è la conoscenza intima e completa della vita delle cose!

(1) *Mica* (dal latino *micare*: brillare) composto di silice, allumina, ferro, potassa e magnesia; si trova in tutti i terreni, sopra tutto nelle sabbie e nelle arenarie.

Fig. 118. — Telescopio di Foucault.

CAPITOLO VI.

IL TELEFOTO.

LA VISIONE A DISTANZA E LA VISIONE DEGLI INFINITAMENTE PICCOLI:
TELESCOPIO. — TELEFOTO. — MICROSCOPIO.

Se il problema dell'inscrizione, della riproduzione e della trasmissione della parola, a qualsiasi distanza, è ormai registrato fra le più belle vittorie della scienza, si può egli dire altrettanto per la *visione a distanza?*

Seguire gli atteggiamenti, i gesti, le modificazioni di fisionomia di chi ci parla col telefono, vedere le persone che lo attorniano, o godere lo spettacolo di un sito pittoresco senza incomodo, senza essere impedito dai monumenti, dalle montagne, dai mille accidenti del terreno che arresterebbero la luce nel suo viaggio ordinario: tale è la meta da raggiungersi. Meta lontana, ma non inaccessibile che i dati attuali della scienza consentono di intravedere senza fatica.

Ciò che fu compiuto per l'orecchio, lo sarà senza dubbio anche per l'occhio; la comunicazione visuale sarà istantanea come lo è già la comunicazione uditiva.

Si sentirà e si vedrà; e sarà possibile di fare in pochi minuti il giro del mondo senza muovere un passo!

L'apparecchio che permetterà di toccare una sì mirabile meta non è ancora costrutto, sebbene sia stato oggetto di indagini persistenti, illuminate e metodiche. Non esiste, eppure ha già un nome: si chiama Telefoto (1).

Per comprendere i fatti che servono di base alle indagini, per intuire in quale misura il *Telefoto* sia possibile, è necessario esaminare dapprima attentamente i mezzi mercè i quali il genio umano seppe già estendere in sì vasti limiti il potere dell'occhio.

Da lungo tempo l'uomo cerca di vedere distintamente gli oggetti lontani che sfuggono a' suoi occhi o non possono essere percepiti che in modo vago e indeterminato. A tal uopo egli inventò istrumenti che si chiamano Telescopii (2) la cui missione principale si è quella di rivelarci i secreti di quei mondi lontani sui quali l'astronomia ha esteso il proprio dominio.

Col Microscopio, inventato presso a poco nella stessa epoca, non sono più i corpi che la lontananza rende piccoli e confusi quelli che si osservano, ma i corpi che son vicini a noi e dappertutto, che esistono a legioni nell'aria, nell'acqua senza intorbidarne la trasparenza, e che la loro estrema picciolezza ci nasconde.

Quanti esseri più fantastici e più misteriosi ancora di tutti quelli che l'imaginazione può creare vengono offerti alla nostra curiosità nel microscopio!

Gli animali più piccoli, visibili ad occhio nudo, non son forse giganteschi a petto di quei microbi, dei quali la scienza indaga con ansia le abitudini e la funzione nella lotta per la vita?

A lato di queste invenzioni di sì alto momento, ve n'ha una quantità di altre che si basano sui medesimi fatti, sui medesimi principî e che furono ideate coll'intento di istruire e sopratutto di ricreare. Esse consentono di produrre agevolmente le illusioni più drammatiche o le più divertenti.

Tutti quegli istrumenti preziosi danno imagini degli oggetti che ad essi mandano luce.

Come si formano quelle imagini?

Per spiegare il fatto necessita conoscere talune proprietà della luce, quell'agente della visione il cui studio forma l'oggetto dell'ottica (3).

Per comprendere il giuoco di quegli istrumenti, non è punto necessario di sapere quale sia la natura, la causa della luce. D'altra parte è impossibile di coglierla direttamente, di obbligarla a scrivere essa medesima la propria storia. Qui noi non possiam fare che quanto abbiam fatto pel suono.

Ma, per una concatenazione di osservazioni e di ragionamenti ingegnosi che verranno esposti più innanzi e che sono dovuti sopratutto al genio di Fresnel (4), si fu condotti ad ammettere come infinita-

(1) Telefoto, dal greco τῆλε (tele) lontano e φῶς (phos) luce.
(2) Telescopio, dal greco τῆλε (tele) e σκοπέω (scopeo), esamino, osservo.
(3) Ottica, dal greco ὀπτικός (opticos) vedere. Qualunque apparecchio che da un'imagine degli oggetti è un istrumento d'ottica.
(4) Gian Agostino Fresnel, fisico francese, nato a Broglie (Eure) il 10 maggio 1788, morto a Ville-d'Avray nel 1827, ingegnere di ponti e strade, membro dell'Istituto.

mente probabile che la luce sia l'effetto prodotto sull'occhio da un movimento vibratorio straordinariamente rapido — abbiam dato precedentemente alcuni numeri relativi a questo argomento — delle particelle di

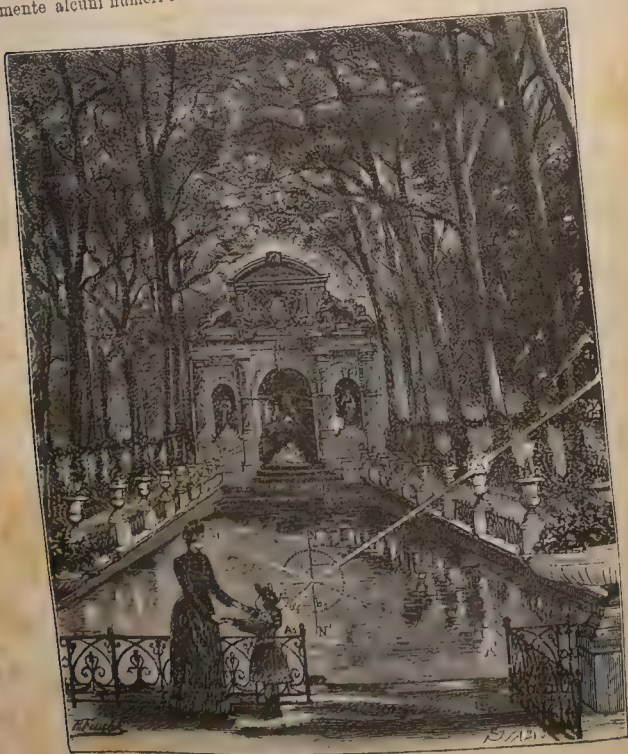



Fig. 119. — Fenomeno di riflessione e di rifrazione della luce.

un mezzo che fu chiamato etere (1), ma del quale la bilancia e gli strumenti più delicati sono stati impotenti a dimostrare l'esistenza.

Il movimento dell'etere apprezzato dall'occhio sarebbe la luce, pel

(1) Dal greco αἰθήρ (aither): aria pura, aria sottile.

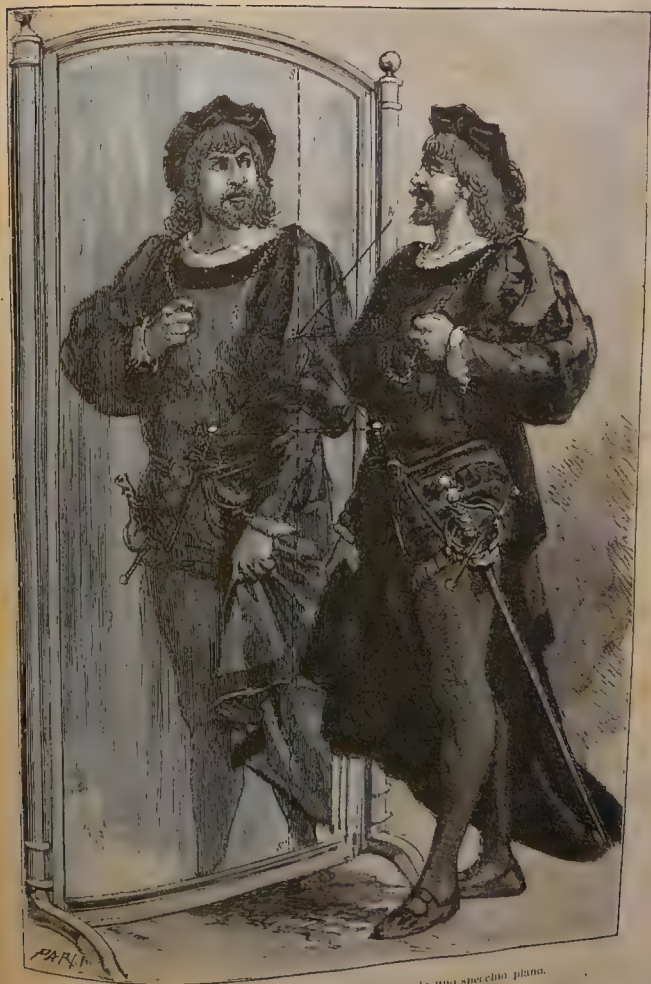



Fig. 1[illegible]0. — Imagine simmetrica e virtuale ottenuta da uno specchio piano.

medesimo titolo che il movimento vibratorio della materia apprezzato dall'orecchio è il suono.

Nel linguaggio tecnico di quella parte dell'ottica che si occupa della formazione delle imagini, non si parla mai della luce per sè stessa, ma solo del raggio luminoso.

Un'espressione che pure si incontra sovente è quella di punto luminoso.

Egli è evidente che un punto luminoso è un corpo che manda luce intorno a sè e le cui dimensioni sono più piccole di tutto ciò che si può concepire.

È un'astrazione comoda, attesochè un corpo luminoso per sè stesso, come sarebbe una fiamma, il sole, ecc., o illuminato come la maggior parte di quelli che noi vediamo, può sempre essere considerato come risultante dalla riunione di un grandissimo numero di punti luminosi ciascuno dei quali si comporta come un punto luminoso isolato.

Un punto luminoso manda luce intorno a sè in tutte le direzioni.

Ognuna delle direzioni rettilinee che partono dal punto porta il nome di raggio luminoso.

L'osservazione dei fasci rettilinei di luce che filtrano attraverso alle piccole aperture ha condotto alla nozione di raggio luminoso; ma si noti che è impossibile di ottenere un raggio luminoso in via sperimentale, attesochè continuando a restringere ognor più l'apertura per la quale arriva il fascio di luce, il fenomeno cambia ben presto natura; la luce si disperde in tutte le direzioni, e si ha un fenomeno di diffrazione (1).

Il raggio luminoso, al pari del punto luminoso, è un'astrazione.

L'uno e l'altro corrispondono al punto ed alla linea della geometria, per mezzo dei quali d'ora innanzi noi li rappresenteremo costantemente.

Come mai un fascio di luce può egli essere incanalato, diretto verso quel tal punto, verso quel tal luogo che si desidera?

Ciò si ottiene usufruendo i fenomeni di Riflessione (2) e di Rifrazione (3) dei raggi luminosi.

Un esperimento semplicissimo ci additerà immediatamente in che cosa consistano quei fenomeni.

Se verun ostacolo non intralcia la propagazione della luce, questa cammina sempre dritta dinanzi a sè. Mai essa devia dalla sua strada.

Non avviene più la stessa cosa se essa incontra qualche ostacolo o se i mezzi trasparenti che essa attraversa successivamente non sono identici.

Per essere persuasi basta osservare ciò che succede quando un fascio di luce molto sottile (fig. 119), che prima camminava nell'aria incontra un piano d'acqua c.

In B, ove il fascio AB — che si chiama fascio *incidente* (4) — cade sulla superficie dell'acqua, v'ha divisione del fascio. Una parte ritorna nell'aria seguendo il cammino BA_1, l'altra passa nell'acqua e si propaga in una direzione BA_2.

(1) Dal latino *diffringo*: spezzare, fare in pezzi.
(2) *Riflessione*, dal latino *reflecto*: incurvare, piegare, ritornare indietro.
(3) *Rifrazione*, dal latino *refringo*: rompere.
(4) *Incidente*, dal latino *incidere*: cadere sopra.

BA_1 è un raggio di luce riflessa e BA_2 è un raggio di luce rifratta.

Questa divisione del fascio è quella appunto che costituisce i fenomeni di RIFLESSIONE e di RIFRAZIONE della luce (1).

Tutte le imagini che noi osserviamo risultano dalla riflessione o dalla rifrazione della luce; le leggi di quei fenomeni consentono di determinare in ogni caso la forma e la posizione delle imagini. L'armonia delle conseguenze inferite da quelle leggi coi risultati dell'esperienza diretta è la miglior prova della lóro esattezza.

Occupiamoci da prima delle imagini ottenute per riflessione.

Tutte le superficie levigate formano *specchio* (2), poichè la luce riflettendosi su di esse produce un'imagine dell'oggetto dal quale proviene.

L'osservazione volgare mostra che i corpi trasparenti riflettono essi pure la luce in quantità sufficiente per dare imagini degli oggetti, tanto più spiccate quanto più illuminati sono gli oggetti.

Non si vede forse l'imagine del sole, delle stelle, nel fondo di uno specchio d'acqua limpida? Non si vedono forse al di fuori, attraverso le invetriate delle finestre, le imagini delle lampade che rischiarano un'abitazione?

Egli è evidente che l'uso degli specchi risale all'antichità più remota.

Si legge nell'*Esodo* che le donne di Israele si servivano di specchi

---

(1) Tracciamo al punto B una linea retta BN che non si inchini più da una parte che dall'altra sulla superficie dell'acqua. Ad una tal linea si è dato il nome di *normale* alla superficie. L'esperienza dimostra che il fascio incidente AB, la normale BN, i raggi riflessi e rifratti BA_1, BA_2, sono tutti situati in un medesimo piano. Oltre a ciò il raggio riflesso BA_1 ed il raggio incidente AB sono inclinati egualmente sulla normale, cioè formano rispettivamente con essa due angoli, l'angolo ABN, detto *angolo di incidenza* e l'angolo NBA_1, chiamato *angolo di riflessione*, che sono fra loro eguali. Per ciò che concerne il raggio rifratto, l'esperienza mostra che si trova più vicino alla normale NBN_1 che non lo sia il raggio incidente.

Questo fatto si esprime colle seguenti parole: l'acqua è una sostanza più *rifrangente* dell'aria. Le diverse qualità di vetri si comportano precisamente come l'acqua.

Se il raggio incidente arrivasse secondo la normale NB, esso continuerebbe il suo viaggio secondo BN', ma una porzione della luce sarebbe riflessa secondo BN.

Se dal punto B preso come centro e nel piano dei raggi si traccia una circonferenza, poi si abbassano dai punti a ed a_2 ove quella circonferenza è incontrata dal raggio incidente AB e dal raggio rifratto BA_2, alcune perpendicolari ab, a_2b sulla normale NBN', si trova che il rapporto delle lunghezze delle due linee ab, a_2b_2 è sempre il medesimo qualunque sia la grandezza dell'angolo di incidenza ABN.

Codesto rapporto che, nel caso della nostra esperienza ove il raggio passa dall'aria nell'acqua, è sensibilmente eguale a 4/3, porta il nome di *Indice di rifrazione dell'acqua relativamente all'aria*. L'indice di rifrazione dipende dalle due sostanze trasparenti che si stanno a fronte.

Se il fascio incidente fosse caduto sull'acqua nella direzione A_1B_1, esso sarebbesi riflesso nella direzione BA. Questo fatto si esprime dicendo che le due direzioni AB ed A_1B sono intimamente legate l'una all'altra, che esse sono *coniugate per riflessione*. Le direzioni AB ed A_2B sono egualmente *coniugate per rifrazione*. Questo legame vien pure qualche volta chiamato *principio del cammino reciproco della luce*.

In conclusione, se il raggio luminoso ritorna indietro, esso riprende successivamente, percorrendole in ordine inverso, tutte le posizioni che aveva prima occupate nel suo viaggio diretto. Questa è una considerazione di sommo rilievo nell'ottica dei raggi luminosi od ottica geometrica.

Tutti i raggi incidenti compresi nell'angolo CBN, dopo la rifrazione, sono contenuti in un angolo quale sarebbe A_2BN'. Se dunque un raggio, proveniente dal fondo dell'acqua fa colla normale BN' un angolo maggiore di A_2BN', esso non potrà uscire nell'aria, e sarà rimandato verso il fondo dell'acqua dopo essersi riflesso in B. Per quei raggi la superficie dell'acqua fa l'ufficio di uno specchio piano. Tale è il fenomeno della *riflessione totale*.

(2) I Francesi, come è noto, chiamano lo specchio *miroir*, vocabolo che fanno derivare dal latino *mirari*: contemplare, guardare.

di bronzo brunito. Se ne facevano altresì colle pietre preziose e dure, come lo smeraldo. i diaspri, l'ossidiana. Negli scavi delle necropoli, fra le rovine degli antichi monumenti se ne rinvennero di perfettamente conservati.

I nostri specchi piani attuali la cui invenzione viene attribuita agli abitanti di Sidone (oggidì Saida, sulla costa orientale del Mediterraneo), sono costituiti da una lastra di vetro coperta con un intonaco metallico, d'argento, o di mercurio e stagno.

Da principio non si sapevano fare (VI secolo) che piccoli specchietti piani. Più tardi i veneziani, espertissimi nell'arte di soffiare il vetro, pervennero a fabbricarne di grandi dimensioni, ma siccome non erano rigorosamente piani deformavano alquanto le imagini. Ne vedremo tra breve il perchè.

Fu nel 1688 che Thévart trovò il mezzo di costruire le grandi lastre facendo colare il vetro fuso sopra un tavolo di ferro; la lastra colata viene in seguito levigata sulle due faccie e coperta su una di queste con un amalgama di stagno, ovvero con uno strato d'argento deposto per via chimica. Quest'ultimo metodo è dovuto a Drayton, che lo indicò verso il 1860.

Gli specchi più importanti hanno una forma piana od una forma sferica.

Se i raggi luminosi che provengono da un punto A cadono sopra uno specchio piano M, essi si rifletteranno e verranno *coi loro prolungamenti* a concorrere rigorosamente in un punto A' simmetrico di A, per rapporto allo specchio (1) (fig. 120).

A' è l'imagine del punto A. *E questa imagine non esiste realmente, non si può ricercarla sopra uno schermo; i raggi luminosi non la producono che in ragione della facoltà che ha l'occhio di prolungare per istinto i raggi luminosi* ***che vengono a toccarlo.*** **Dunque tutto succede come se quei raggi fossero partiti da A'.**

Ad una tale imagine venne dato il nome di *imagine virtuale* od illusoria (2).

Tutti gli altri punti dello stesso oggetto daranno nella stessa maniera, ognuno per parte propria, la loro imagine, e il complesso di quelle imagini di punti produrrà sull'occhio che riceve i raggi la medesima impressione che se guardasse l'oggetto opportunamente collocato.

Non è punto necessario di prendere uno specchio metallico od uno specchio di vetro dietro al quale fu steso **uno strato di amalgama;**

---

(1) **Abbiasi infatti un raggio incidente** qualunque AB; esso si riflette al punto B sullo specchio secondo il raggio BA. Per le leggi della riflessione, quel raggio ha sullo specchio la medesima *inclinazione* del raggio AB ed è situato nel piano condotto allo specchio per AB e la normale BN. Quel piano taglia lo specchio secondo la linea SS.

Poichè gli angoli ABS ed ABS sono eguali, e poichè d'altra parte l'angolo SBA è eguale all'angolo $A'BS$ di cui è il prolungamento, il raggio BA prolungato in DA' incontrerà la perpendicolare ASA' abbassata da A sullo specchio in un punto A' e la distanza SA', in queste condizioni, è eguale alla distanza SA. Siccome il punto A, è fisso, lo stesso sarà anche del punto A'. La posizione del punto A' è dunque indipendente dal raggio particolare considerato.

Tutti i prolungamenti dei raggi riflessi andranno per conseguenza a concorrere in quel punto A'.

L'occhio non riceve nel medesimo tempo tutti i raggi riflessi. Nella figura 120 esso vede l'imagine A' per effetto del fascio indicato. Se esso si sposta, vede ancora la medesima imagine nella medesima posizione, ma questa volta in virtù di un altro fascio di raggi.

(2) *Virtuale*, dal latino *virtus* forza, potenza.

una grande lastra di vetro senza rivestimento metallico può anch'essa fare da specchio, come abbiam già accennato.

Un grazioso esperimento, alla portata di tutti, dimostra che l'imagine è simmetrica (1) coll'oggetto, relativamente allo specchio, vale a dire della medesima misura, delle medesime dimensioni ed alla medesima distanza dallo specchio. Per esempio supponiamo che l'oggetto si

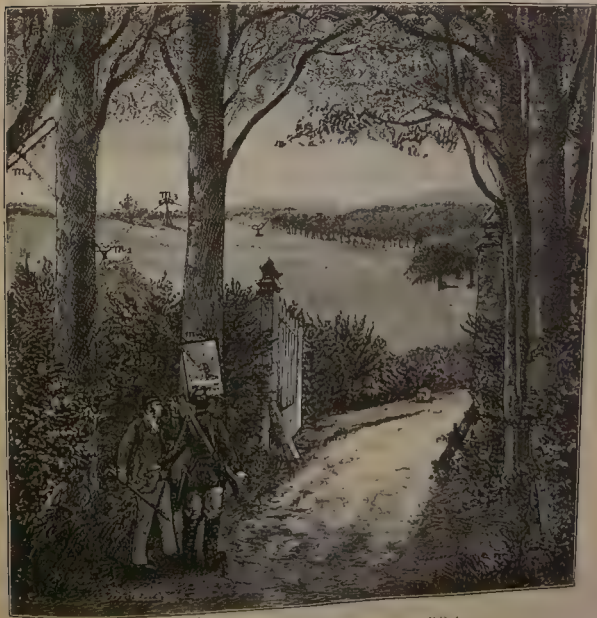



Fig. 121. — Il telefoto a specchi sarebbe mai possibile?

trovi ad un metro di distanza al di qua dello specchio; la sua imagine virtuale sembrerà essere ad un metro al di là, ossia dietro allo specchio. Prendiamo una lastra di vetro senza amalgama e disponiamola verticalmente, poi prendiamo due candelabri o due candelieri identici, mettiamoli uno da una parte e l'altro dall'altra della lastra, alla stessa precisa distanza e sopra una medesima perpendicolare alla

(1) *Simmetrico*, dal greco συν (sun) con, e μετρον (metron) misura.

lastra e poi accendiamo le candele di uno dei candelabri. Che cosa osserveremo? osserveremo che l'altro candelabro sembrerà acceso anch'esso, per il che si richiede che le imagini delle fiamme delle prime candele si formino precisamente sul lucignolo delle candele situate simmetricamente; un piccolissimo spostamento dei candelabri, o il semplice consumo delle candele accese distrugge l'illusione.

Si usufruì dell'imagine simmetrica nello studio del disegno. Un vetro senza stagno sta dritto in piedi nel mezzo di un assicella; il disegno che si tratta di copiare è disteso piatto sopra una delle due metà della assicella: la sua imagine simmetrica viene riprodotta dal vetro sulla carta bianca stesa sull'altra metà dell'assicella, e la matita dell'allievo non ha che da seguire le linee dell'imagine che egli vede, ben inteso, a condizione di mettere il suo occhio dalla parte del disegno.

L'*evocazione degli spettri* in teatro, è un effetto ottico attraentissimo, e lo si ottiene per mezzo di una grande lastra di vetro non stagnata.

Sul margine della scena (fig. 123) è situata una grande lastra trasparente *G*, inclinata dal lato degli spettatori. L'attore travestito da spettro si trova in *H* e viene illuminato fortemente da una lampada elettrica *L*; i raggi che partono da *H* vanno ad impressionare gli occhi degli spettatori, dopo essersi riflessi sulla lastra, laonde gli spettatori stessi vedono sulla scena in *H'* uno spettro impalpabile, che nulla ha di materiale e che si può far scomparire istantaneamente tirando una tenda dinanzi all'attore abbigliato da spettro, o smorzando la lampada.

Il pubblico vede nel tempo stesso, direttamente attraverso la lastra, gli altri attori che sono sulla scena; ma questi non ponno vedere lo spettro perchè si trovano dietro alla lastra.

La lista delle illusioni ottiche, delle quali le proprietà degli specchi svelano il segreto, è lunga assai.

Esse si basano tutte sul fatto che si può, facendo riflettere successivamente da diversi specchi opportunamente situati i raggi luminosi che emanano da un oggetto, portare l'imagine dell'oggetto stesso in quel punto che si vuole, come pure sull'altro fatto che l'occhio vede sempre gli oggetti nella direzione ultima secondo la quale gli arriva la luce.

Ciò posto, sarebbe egli possibile di costruire un *telefoto* per mezzo di specchi?

Basterebbe disporre alcuni specchi su pali piantati a distanze opportunamente prestabilite (fig. 121) ed orientarli in guisa che i raggi partiti dall'oggetto lontano si riflettessero sugli specchi successivi $m_3 m_4$ $m_1 m_2$ ed arrivassero in fine all'occhio dell'impiegato della stazione di ricevimento?

Malauguratamente no, poichè, astrazion fatta dalle difficoltà di stabilità e di buona orientazione degli specchi che un tale impianto presenterebbe sopra una lunga distanza, fa pur mestieri tener calcolo delle varie perdite di luce che avvengono sul percorso e che rendono impossibile il TELEFOTO a specchi.

Sono combinazioni analoghe di pochi specchi soltanto, i così detti *specchi-spie*, col sussidio dei quali i mercanti possono dall'interno della loro bottega tener d'occhio la vetrina o mostra; il *polemoscopio;* il *cannocchiale magico*, ecc.

Il polemoscopio fu inventato nel 1637 da Hevelius (1) che gli diede questo nome tratto dal greco πολεμος (polemos) combattimento e σκοπεω (scopeo) io vedo « perchè, a quanto egli dice, si può servirsene in guerra, sopratutto negli assedii, per vedere ciò che avviene nel campo del nemico senza scoprirsi. »

I raggi di luce che vengono da lontano incontrano anzitutto un primo specchio che manda quei raggi sopra un secondo specchio collocato dietro un riparo, e nel quale si possono esaminare senza pericolo e con tutta la comodità, le imagini degli oggetti esterni.

Disponendo quattro specchi m_1 m_2 m_3 m_4 come indica la figura 122 si forma un *cannocchiale magico,* in questo senso, che un oggetto O riesce visibile, quantunque fra i tubi T e T' vale a dire nella direzione stessa in cui si guarda si interponga uno schermo E.

Sin qui noi abbiamo ottenuto una sola imagine di uno stesso oggetto, ma è agevole ottenerne un gran numero, tutte visibili contemporaneamente.

Se l'oggetto si troverà posto fra due specchi paralleli, manderà raggi che si rifletteranno successivamente sui due specchi, raggi che vanno dall' uno all' altro e che per conseguenza daranno un gran numero di imagini disposte sopra una linea perpendicolare agli specchi e passante per l'oggetto.

Questo effetto può essere osservato a piacimento nella massima parte delle sale dei caffè, ove gli specchi sono disposti parallelamente su pareti opposte.

Se i due specchi, in luogo di essere paralleli, sono inclinati uno rispetto all'altro, essi danno nella medesima maniera una serie di imagini regolarmente distribuite sopra una circonferenza avente il suo centro sulla linea di intersezione dei due specchi e il cui piano passante per l'oggetto è perpendicolare a quella linea.

Questo è il principio del caleidoscopio inventato da Brewster nel 1817.

Il caleidoscopio (2) di Brewster consta di due specchi inclinati l'uno sull'altro e contenuti in un tubo di cartone. Gli oggetti di cui si vogliono guardare le imagini multiple sono situati in una scatola assicurata ad una delle estremità del tubo. Il fondo di quella scatola è formato da una lamina di vetro appannato; la faccia opposta è un vetro ordinario. Gli oggetti sono pezzettini di vetro o di carta colorati. Si guarda da una piccola apertura praticata all'altra estremità del tubo. I disegni regolari che si ponno ottenere e che è agevole di variare spostando gli oggetti mediante alcune scosse, danno luogo sovente a combinazioni usufruite dagli artisti che preparano i disegni pei tessuti stampati.

Lo specchio piano che ci ha occupati sin qui non può mai dare altro che un'imagine virtuale delle medesime dimensioni dell'oggetto.

Gli specchi sferici concavi si prestano ad effetti più variati.

Essi possono dare un'imagine reale o virtuale più grande dell'og-

---

(1) Giovanni Hevelius o Hevel, astronomo tedesco (1611-1687) autore della *Macchina celeste*, inscritto da Colbert nel numero degli scienziati stranieri ai quali Luigi XIV largiva una pensione.

(2) *Caleidoscopio*, dal greco καλος (calos): bellezza, εἶδος (eidos) forma, imagine, e σκοπεω (scopeo) osservo.

getto o più piccola di esso. Oltre a ciò, essa può essere, rispetto all'oggetto, così diritta come capovolta.

Tutto dipende dalla posizione relativa dell'oggetto e dello specchio.

Il ragionamento applicato alle leggi della riflessione consente di stabilire *a priori* che cosa deve avvenire in ogni caso, ma noi amiamo meglio chiederlo all'esperienza.

Premettiamo che si chiama asse principale dello specchio la linea che passa pel centro O ed il vertice S dello specchio (fig. 124).

La metà F di $O\ S$ è il foco principale dello specchio, $F\ S$ ne è la distanza focale.

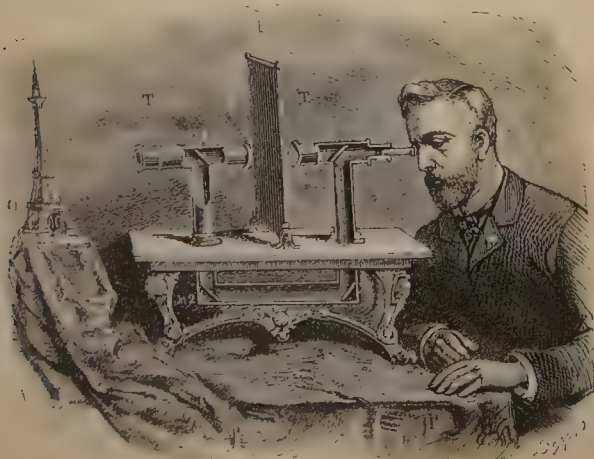



Fig. 122. — Illusione d'ottica; il cannocchiale magico.

Spostiamo ora lungo l'asse dello specchio un oggetto quale che sia, per esempio una candela accesa, e cerchiamone l'imagine coll'occhio o con un piccolo schermo di carta o di stoffa bianca.

I risultati dell'esperienza, che è necessario aver presenti alla memoria quando si ricerca l'effetto di uno specchio in una data combinazione, sono compendiati in ciò che segue.

1.° L'oggetto è in $A\ B$ tra il foco F ed il centro O.

In questo caso lo specchio dà un'imagine $A'\ B'$ reale, capovolta, più grande dell'oggetto e sempre situata al di là del centro O.

2.° L'oggetto è situato presso il centro O dello specchio.

L'imagine $A'\ B'$ è allora reale, capovolta, *eguale all'oggetto* e situata simmetricamente all'oggetto stesso rapporto all'asse principale dello specchio.

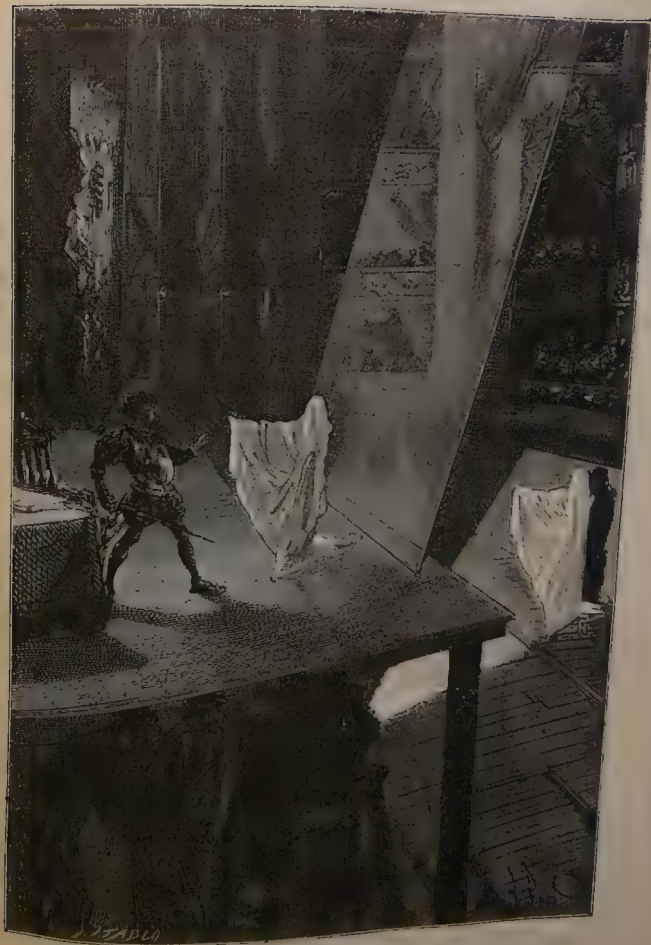



Fig. 123. — Spettro impalpabile evocato sulla scena di un teatro

Questa proprietà dà la chiave della bella illusione del *mazzo di fiori immateriale*, illusione che è facile produrre operando come ora diremo. Disponiamo al disotto del centro O (fig. 125) dello specchio un mazzo di fiori capovolto B, e al disopra del centro un vaso diritto, ed il mazzo sia nascosto agli spettatori da uno schermo opaco ed annerito. Sembrerà che nel vaso ci sia un mazzo di fiori che non si può toccare, un mazzo impalpabile. Quel mazzo magico non è altro che l'imagine reale del mazzo di fiori nascosto.

3.° L'oggetto è situato al di là del centro.

Questo è il caso della figura 124; ma le parti sono invertite, l'imagine è al posto dell'oggetto, e reciprocamente.

In questa contingenza l'imagine è reale, capovolta, *più piccola* del-

Fig. 124. — Imagine di un oggetto AB situato fra il centro ed il foco di uno specchio concavo. Se l'oggetto fosse in $A\,B'$ l'imagine sarebbe in $A\,B$.

l'oggetto, e tanto più piccola (e tanto più vicina al foco) quanto più l'oggetto è lontano.

4.° L'oggetto $A\,B$ si trova tra il foco F e lo specchio.

L'occhio vede allora formarsi dietro lo specchio un'imagine virtuale, e questa volta diritta e più grande dell'oggetto (1).

Esaminando le imagini ingrandite, ottenute nelle precedenti esperienze, si scorge subito che esse diventano ognor più pallide, che la loro luce diminuisce mano mano che crescono di dimensioni. Ciò riesce ben evidente se si considera che la medesima quantità di luce emessa dall'oggetto è in questo caso ripartita sopra superficie crescenti.

Diremo poche parole dello specchio convesso, poichè esso dà sempre un' imagine virtuale di un oggetto situato dinanzi a lui, e quell' imagine è diritta e più piccola dell' oggetto e tanto più *piccola* quanto maggiore è la distanza che corre fra l'oggetto e lo specchio.

---

(1) Le proprietà del foco e la costruzione delle imagini sono in tutti i punti simili a quelle che saranno indicate a proposito delle lenti, poichè il centro O dello specchio adempie l' ufficio del centro ottico di una lente.

Esso offre dunque una miniatura degli oggetti che lo circondano e dei quali un pittore potrà agevolmente cogliere e riprodurre l'insieme (fig. 126).

Poichè l'imagine prodotta da uno specchio convesso è tanto meno grande quanto più l'oggetto è lontano dallo specchio, succederà, trattandosi per esempio di un oggetto in rilievo, come sarebbe il volto di una persona, che il naso, il quale è più vicino, sarà ingrandito relativamente più della fronte, degli orecchi, ecc., e per conseguenza si vedrà un'imagine tale che l'oggetto sembrerà deformato.

Nello specchio concavo la deformazione è inversa: collocando lo specchio vicino al viso, saranno le parti più vicine allo specchio (il naso) quelle meno ingrandite, poichè l'imagine virtuale è tanto più grande quanto maggiore è la distanza fra l'oggetto e lo specchio, pur rimanendo fra il foco ed il vertice.

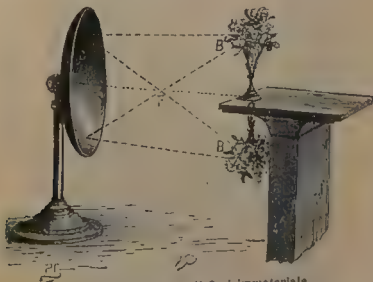



Fig. 125. — Il mazzo di fiori immateriale.
Imagine di un oggetto situato presso il centro *O* di uno specchio concavo

Le deformazioni delle imagini sono assai più notevoli negli specchi cilindrici, conici ed altro. Esse danno luogo a strani fenomeni di cambiamento di forma od anamorfosi, nei quali si vede una figura irregolare dare per riflèssione un disegno regolare o reciprocamente.

Gli antichi conoscevano gli specchi sferici. Essi avevano osservato le imagini date dagli specchi concavi, e risulta da diversi passi delle *Questioni naturali* di Seneca, che essi avevano notato le imagini reali e capovolte formate al di qua di quegli specchi.

Il faro d'Alessandria d'Egitto, faro costruito da Sostrato sotto il regno di Tolomeo Filadelfo, 283 anni prima dell'èra nostra, e che l'antichità considerava come una delle sette meraviglie del mondo, portava alla sua sommità, alta circa cento metri, un grande specchio concavo che, dicesi, riflettesse le navi prima che l'occhio potesse scorgerle sull'orizzonte.

Questo fatto nulla ha di impossibile, attesochè pel fatto della sua grandezza lo specchio poteva raccogliere una grande quantità di luce che arrivava dall'oggetto lontano; di più, l'imagine piccolissima di quell'oggetto risultante dal concorso dei moltissimi raggi ricevuti sullo specchio, era assai brillante e, per conseguenza, visibilissima. Questo era il TELEFOTO degli antichi.

Le imagini delle quali ci siamo occupati sono tutte prodotte dalla *riflessione* della luce.

Ci abbisogna ora studiare come si possano parimente ottenere imagini di oggetti per mezzo della *rifrazione* della luce, mediante quei vetri che si chiamano lenti, e come, combinando quelle lenti, si potrono costruire varii istrumenti di ottica rispondenti ad uno scopo determinato.

Una *lente* è formata d'una sostanza trasparente limitata da due superficie ordinariamente sferiche. Fu per analogia alla forma del seme delle lenticchie che sin da principio si è dato il nome di « lente » o

Fig. 135. — Imagine diritta e virtuale degli oggetti veduti in uno specchio convesso e copiata da un pittore.

di « vetro lenticolare » a qualunque pezzo di vetro sottile limitato da due superficie convesse opposte.

Le lenti sono conosciute già da molti secoli. Davide Browster (1) il 1 settembre 1852 presentò all'Associazione britannica una lente pianoconvessa di cristallo di rocca, larga quattro centimetri, che sembrava aver fatto parte di un istrumento di ottica, e che era stata rinvenuta a Khorsabad presso le rovine di Ninive. Nel 1859 fu scoperta una lente di vetro in una tomba romana.

(1) Davide Brewster, fisico inglese nato in Iscozia nel 1781, morto nel 1868, autore di molte opere e fra le altre di un *Trattato d'ottica* e di un *Trattato sul caleidoscopio* che egli aveva inventato; membro corrispondente dell'Istituto

D'altra parte, Ernesto Renan ci dice a proposito di Nerone: « Siccome egli era miope, quando assisteva ai combattimenti di gladiatori, usava portare nell'occhio uno smeraldo concavo che gli serviva da occhialino » (1). Ciò serve a dimostrare che talune proprietà delle lenti erano conosciute più di milleottocento anni fa, e che Nerone potrebbe essere l'inventore del monocolo (fig. 136) (2).

Le lenti che si fabbricano al giorno d'oggi e che qualche volta hanno

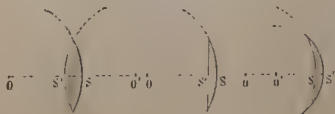



Fig. 127. Fig. 128. Fig. 129.

dimensioni grandi sono fatte generalmente con vetri chiamati « crown glass » e « flint glass » (3).

La forma e la dimensione di una lente dipendono dai raggi $O\ S$, $O'\ S'$ delle superficie sferiche che la limitano, e dalla posizione relativa dei centri O ed O' di quelle superficie.

La linea dei centri OO' si chiama asse della lente. Qualunque piano

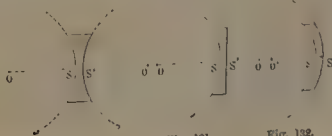



Fig. 130. Fig. 131. Fig. 132.

passante per quell'asse taglia la lente, secondo ciò che si dice una sezione principale.

La figura 127 rappresenta la sezione principale di una lente gonfia da ambe le parti, ossia biconvessa.

---

(1) E. Renan. L'*Antecristo*, p. 172, secondo Plinio. *Hist. nat.* XXXVIII, v.

(2) Convien dire che gli antichi attribuissero le proprietà di quegli smeraldi piuttosto alla loro sostanza che alla loro forma.

(3) In inglese *glass*: vetro; *crown*: corona; *flint*: silice. Ecco una delle composizioni di quei vetri.

Crown glass.

Sabbia bianca	parti 120	Creta	parti 20
Carbonato di potassa . . .	» 35	Acido arsenioso	» 1
» di soda	» 20		

Flint glass.

Silice	parti 42,5	Allumina	parti 48
Ossido di piombo	» 48,5	Calce	» 0,5
Potassa	» 11	Acido arsenioso	» traccie

Un vetro nel quale domina la potassa è un crown glass; esso invece è un flint glass o cristallo se contiene ossido di piombo in grandi proporzioni. Il flint è lievemente giallo.

La figura 128 è la sezione principale di una lente della quale una delle superficie è piana. Questa è una lente piano-convessa. In questo caso l'asse è la perpendicolare abbassata dal centro O della superficie sferica sulla superficie piana.

Se finalmente le due superficie sferiche, pure tagliandosi, hanno i loro centri dalla medesima parte della lente, questa si dice concavo-convessa (fig. 129).

Giova notare che tutte le lenti precedentemente descritte sono a lembi taglienti, vale a dire più grosse nel mezzo che sull'orlo, cosa che se anche l'occhio non apprezza, si riconosce agevolmente col tatto.

Nelle lenti, che le figure 130, 131, 132 spiegano a sufficienza, la grossezza è per lo contrario maggiore sugli orli che nel mezzo.

La prima è incavata da due parti e si dice biconcava, la seconda è piano-concava e la terza convesso-concava.

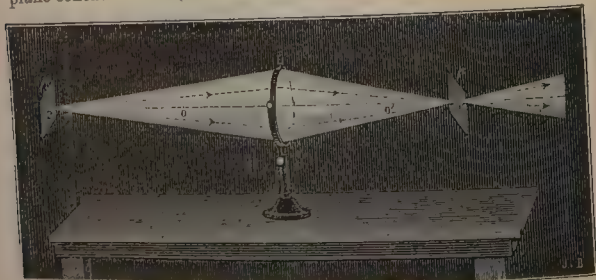



Fig. 133. — Effetti prodotti sulla luce da una lente biconvessa. Punti e piani conjugati.

Ora, quale effetto produce sulla luce che la incontra una lente, per esempio, biconvessa?

Per riconoscere chiaramente quell'effetto e per non essere disturbati dalla luce che viene da tutte le parti, fa mestieri operare in una camera oscura. Del resto, quando si cerca di effettuare un esperimento d'ottica, si opera sempre in questa guisa.

Sia P una fiammella di piccolissime dimensioni o punto luminoso, situata sull'asse della lente L (fig. 133). Dal punto P partono raggi luminosi in tutte le direzioni. Quelli che cadono sulla lente, e che sono i soli rappresentati sulla figura 133, sono compresi nel cono che ha per vertice P e per base la lente L.

Si riconosce senza difficoltà che quei raggi, resi visibili per *diffusione* (riflessione in tutti i sensi) sui pulviscoli in sospensione nell'aria, attraversano la lente e vanno ad incontrarsi, a concorrere, in un punto P' dell'asse.

Se si segnano i due punti P e P', e si trasporta il punto luminoso da P in P' si osserva che i raggi che escono dalla lente vanno a concorrere precisamente in P.

Per questa ragione ai punti P e P' si è dato il nome di *punti* o *fochi conjugati*.

I due piani condotti per P e P' perpendicolarmente all'asse della lente sono due piani che diconsi conjugati. Infatti l'esperienza dimostra che se il punto luminoso P si sposta nel piano $P\,p$, il suo foco conjugato P' (che chiamasi pure l'imagine del punto P) si sposta nel piano $P'\,p'$, a condizione per altro che il punto luminoso si discosti poco dall'asse $O\,O'$.

Se la posizione del punto luminoso sull'asse varia, lo stesso avviene di quella della sua imagine P'.

Ma, fatto importantissimo a notarsi, per una certa posizione F_1 del punto luminoso, l'imagine P' non esiste più, perchè i raggi che in questo caso emergono dalla lente non vanno più a concorrere sull'asse, ma escono parallelamente ad esso (fig. 134).

Il fascio conico di luce $F_1\,L$ si è trasformato in un fascio cilindrico parallelo all'asse della lente. In queste condizioni, la lente costituisce

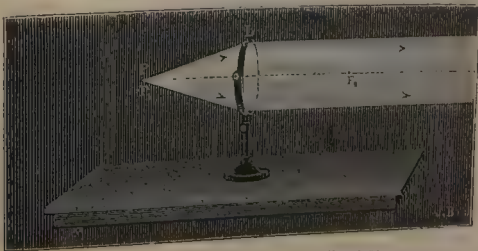



Fig. 134. — Lente che costituisce un collimatore.
Fascio conico di luce trasformato in fascio cilindrico. (Prima proprietà del foco.)

ciò che dicesi un collimatore (1). Questo collimatore ha per iscopo di rendere paralleli tutti i raggi che concorrono in F_1.

Il punto F_2, situato dall'altra parte della lente, gode le medesime proprietà di F_1. I piani condotti per F_1 ed F_2 perpendicolarmente all'asse della lente, ne sono i piani focali.

Ai punti F_1 ed F_2 si dà il nome di fochi principali; le loro distanze dalla lente sono le distanze focali della lente stessa.

È necessario imprimersi bene nella mente che qualunque raggio luminoso che passa per F_1 (o per F_2), e che incontra la lente ne esce parallelamente all'asse di quella.

Questa è la prima proprietà del foco.

Determiniamo ora, come abbiam fatto per la lente L, i fochi F_1 ed F'_2, di una seconda lente L' (fig. 135), poi facciamo coincidere gli assi delle due lenti $L\,L'$ (questa operazione viene detta centratura delle lenti). Se il punto luminoso P viene allora situato nel foco F_1, i raggi

(1) Dal latino *collimare*: prender di mira, mirare.

luminosi che escono da L e che cadono su L' sono paralleli all'asse di questa lente, e si vedono all'uscire da L' concorrere verso l'asse e tagliarsi nel foco principale F_2 della lente L'.

Questo fatto ci dimostra che:

Ogni raggio di luce parallelo all'asse di una lente biconvessa, che la incontra, ne esce per andar a passare pel fuoco principale di essa lente, situato dalla parte opposta a quella d'onde viene la luce.

È la seconda proprietà del foco.

Un faro (1) è un collimatore di forma speciale, destinato ad inviare un fascio di raggi luminosi paralleli in quella tal direzione orizzontale che fu prescelta.

Quello che è situato in cima alla torre Eiffel è costrutto nella medesima guisa di quelli che illuminano le coste; solo è più poderoso.

La luce è fornita da un arco elettrico situato nel foco F, del sistema

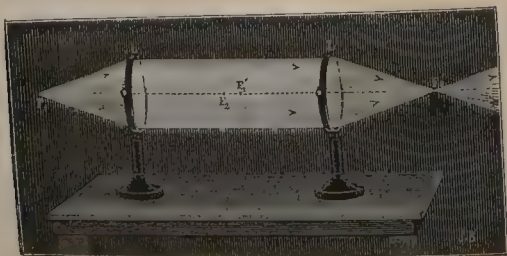



Fig. [illegible] — Fascio cilindrico di luce $L'L'$ trasformato in fascio conico $L\,F_2$. (Seconda proprietà del foco.)

che forma il faro. Quell'arco è alimentato da macchine elettriche installate nel pilone sud della torre.

Il faro è costituito da due tamburi di vetro, uno interno e fisso A, l'altro esterno B, che gira intorno ad un asse verticale in un periodo di tempo che si stabilisce come si stima meglio. Il movimento viene impresso da un motore Gramme.

Il tamburo interno è formato di cinque anelli di vetro, piani dalla

(1) Il nome di Faro, deriva dall'isola di *Pharos*, situata all'ingresso del porto di Alessandria d'Egitto ove ergevasi la torre di cento metri che abbiamo menzionato a proposito degli specchi concavi. Quella ora fu distrutta da un terremoto nell'anno 1303. Attualmente i fari si suddividono in otto generi principali: *fuochi fissi*, il più di sovente bianchi, talora rossi o verdi; *fuochi* [illegible] *fissi*, che si succedono ad intervalli che variano da dieci a sessanta secondi; *fuochi variati da lampi*, che si succedono ad intervalli di due a quattro minuti; *fuochi scintillanti*, le cui eclissi si succedono ad intervalli minori di cinque secondi; *fuochi alternativamente fissi e scintillanti*, nei quali prima si seguono molto da vicino parecchi lampi, poi segue un'eclissi totale; *fuochi ammiccanti*, ad eclissi brevi e frequenti; finalmente *fuochi diversamente colorati*, dei quali gli uni mandano lampi alternativamente rossi e bianchi, gli altri un lampo rosso seguito da due lampi bianchi. La Francia in oggi possiede 425 fari, 45 dei quali sono di primo ordine. Un faro di primo ordine, per esempio quello di Belle-Isle, manda la sua luce sino a ventotto miglia di distanza. (Il miglio marino è di 1852 metri.)

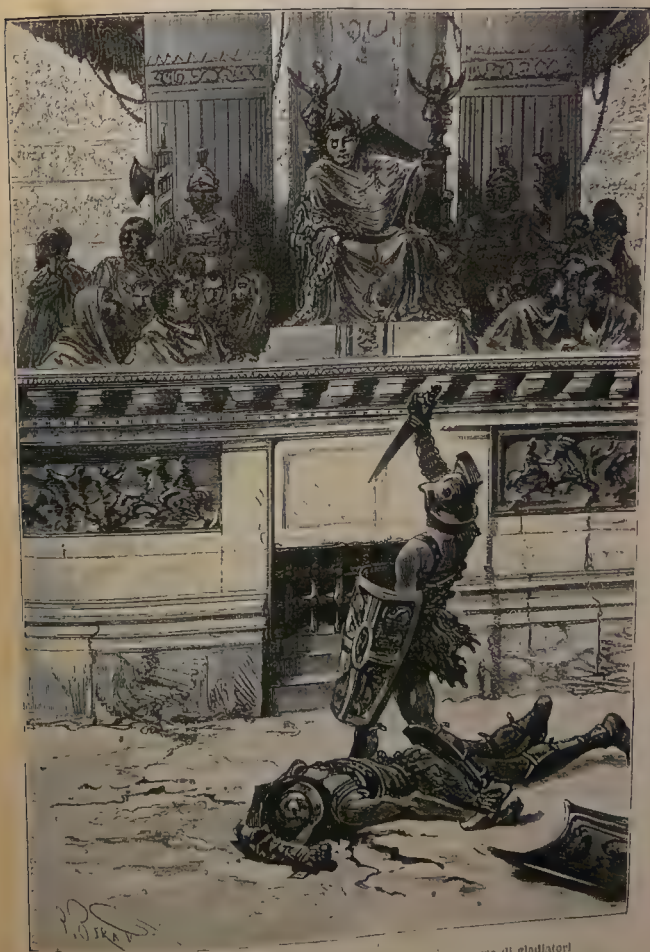



Fig. 1[illegible]6. — Siccome Nerone era miope, quando assisteva a una pugna di gladiatori usava portare nell'occhio uno smeraldo concavo che gli serviva da occhialino. (E. RENAN, *L'Anticristo*.)

parte della sorgente luminosa e convessi dall'altra. Quegli anelli sono disposti a scaglioni, come lo indica la sezione (fig. 137) (1).

Tutto è calcolato perchè i raggi che attraversano gli anelli escano in un fascio sensibilmente cilindrico.

Quando la luce si diffonde tutto all'ingiro, il faro vien detto a fuoco continuo.

Il tamburo mobile, che ha il medesimo asse del primo, porta quattro sistemi identici comprendenti ciascuno tre lenti e tre vetri colorati, destinati a tingere i raggi che li attraversano in blu, bianco e rosso.

Fig. 137. — Lenti a scaglioni dei fari.

I raggi che si propagano in una data direzione, sono successivamente rossi, bianchi, blu, in conseguenza della rotazione del tamburo.

Al disotto degli anelli a scaglioni sono disposti cinque piccoli prismi di vetro che agiscono come altrettanti specchi (2) e mandano la luce che loro viene da *F* in una direzione alquanto inclinata sull'orizzonte.

Il più basso illumina fra 1500 e 1800 metri.

Il secondo fra 1500 e 2000 metri.

Il terzo fra 1700 e 2300 metri.

Il quarto fra 2200 e 5350 metri.

Il quinto fra 4100 e 17200 metri.

Al di là della zona di 6 chilometri, il tamburo a scaglioni incomincia a far sentire il suo effetto. Esso può essere veduto molto da lontano.

Se l'osservatore è situato a livello del mare esso non vedrà il faro a meno che non ne sia distante 67 chilometri, poichè un raggio che parte dalla cima della torre Eiffel divien tangente alla superficie prolungata dei mari ad una distanza di 67 chilometri dalla torre.

Il faro dalla torre Eiffel fu veduto dall'alto della cattedrale di Chartres, a 75 chilometri; dall'alto della cattedrale d'Orléans a 115 chilometri, ed a quanto dicesi anche da Bar-sur-Aube che dista 190 chilometri da Parigi.

In tali condizioni esso appare come una vera stella.

Al disotto del piano del faro, o projettore a lenti, sono situati due projettori a specchi del colonnello Mangin (fig. 138). Essi sono ancor più potenti dei fari, e, grazie a quelli, si possono mandare segnali sopra uno strato di nubi alla distanza di 300 chilometri.

Gli specchi riflettenti, il cui vetro esce dalle officine di Saint-Gobain, hanno 90 centimetri di diametro; la luce vien loro fornita da un arco elettrico intenso. Per evitare che il vento agiti l'arco, il tubo, in fondo

(1) L'idea delle lenti a scaglioni è dovuta a Buffon, ma fu Fresnel che l'applicò alla costruzione dei fari.

(2) In fatti noi abbiamo veduto (a pag. 147) che un raggio luminoso che cammina in una sostanza più rifrangente dell'aria: acqua, vetro, ecc., non può uscire da quella sostanza che nel caso che faccia colla normale alla superficie di separazione un angolo che non sia troppo grande: altrimenti il raggio si riflette sulla superficie di separazione come sopra uno specchio.

al quale è assicurato lo specchio e che contiene l'arco, è chiuso da una serie di lamine di vetro.

I projettori Mangin sono usati in strategia; essi permettono di illuminare i punti dell'orizzonte che si vogliono esaminare coi cannocchiali.

Situati sul davanti di una nave, essi ne illuminano la via.

Furono usati dagli avamposti francesi durante la guerra del Tonchino, e mercè loro le isole della Riunione e l'Isola di Francia poterono comunicare tra esse regolarmente.

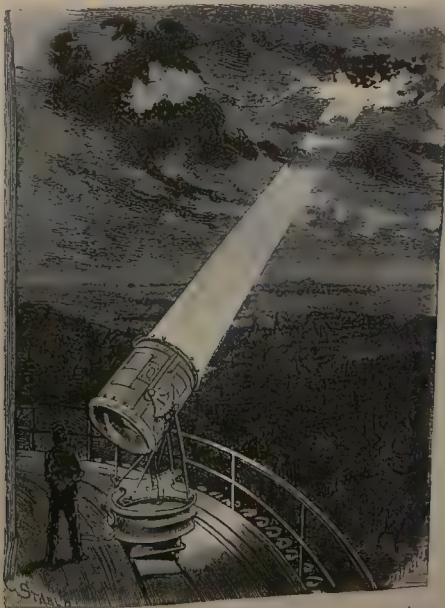



Fig. 138. — Projettore Mangin della torre Eiffel illuminante una nube.

Ma torniamo alla nostra lente: ricevendo un picciol fascio di luce MN sopra una lente L (fig. 139), e dando a quella lente un'inclinazione opportuna, si riconosce che esiste nel suo interno un punto C, tale che qualunque raggio NN' che vi passa esce in una direzione $N'M'$, parallela a quella MN che aveva prima di penetrare nella lente.

Quel punto C si chiama il centro ottico della lente.

Supponendo, come può legittimamente farsi nella pluralità dei casi, che la lente sia sottilissima, si potrà sostituire senza errore sensibile al cammino spezzato $M N C N' M'$ del raggio precedente il cammino rettilineo $M_1 C N_1$.

Le proprietà dei fochi principali e del centro ottico permettono di costruire comodamente l'imagine di un punto P in qualunque modo sia dato dalla lente.

Ove andrà a formarsi l'imagine P' del punto P data una lente L, i cui fochi principali sono in F_1 ed F_2? (fig. 140).

Ecco qua un primo mezzo di trovare quella imagine, basata unicamente sulle proprietà dei fochi.

Fra i raggi che partono dal punto P in tutte le direzioni, ve ne ha uno $P A$ che passa pel foco F_1 e che uscirà (come abbiam già veduto) parallelamente all'asse della lente, secondo $A A_1$.

Il punto di concorso dei raggi è situato in qualche parte sopra $A A_1$. Esiste parimente un raggio $P B$ che è parallelo all'asse e che per conseguenza passerà in F_2, dopo la sua uscita in $B B_1$ dalla lente.

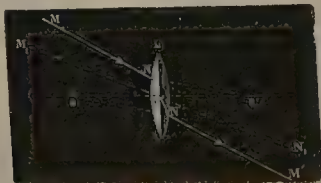



Fig. 139. — Centro ottico di una lente biconvessa.

Il punto P' dovendo trovarsi contemporaneamente sopra $A A_1$ e sopra $B B_1$ non può trovarsi che sul loro punto di incontro P'.

L'imagine di P è dunque in P'. Più il punto P si allontana dalla lente e più la sua imagine si forma presso al piano focale F_2 p.

Un oggetto qualunque è un insieme di punti. Ripetendo la costruzione precedente per un certo numero di essi, si disegnerà l'imagine dell'oggetto data dalla lente.

Se si vuol far uso del centro ottico della lente, si considererà il raggio $P C$ il quale, quando si tratta di una lente sottile, cammina in linea retta assolutamente come se la lente non esistesse.

Quel raggio $P C$ passa altresì per P'; e lo si chiama *asse secondario* del punto P.

Tutte le lenti ad orlo sottile si comportano come la lente biconvessa, esse fanno concorrere realmente sul loro asse i raggi paralleli all'asse che le incontrano.

Queste sono lenti convergenti, i loro fochi principali sono reali, i raggi luminosi passano effettivamente per quei fochi.

Nelle lenti ad orlo grosso, i raggi paralleli all'asse vengono deviati nell'uscita, e sull'asse non vanno già ad incontrarsi i raggi stessi, bensì i loro prolungamenti.

È agevole persuadersene collocando sul tragitto del fascio dei raggi

paralleli che escono dalla lente L, al cui foco F_1 si trova la luce, una lente ad orlo grosso L' centrata sulla prima (fig. 141).

L'occhio situato al di là di L', prolungando per istinto i raggi che gli arrivano, crede vedere in F'_1 un punto brillante; per esso tutto succede come se i raggi luminosi emanassero effettivamente dal punto F'_1; ma questa non è che una illusione, il punto luminoso F'_1 è fittizio, virtuale, esso non esiste ed è impossibile di riceverlo sopra uno schermo bianco che si fosse predisposto in F'_1.

F_1' è un foco principale della lente L', dunque evidentemente ce ne deve essere un altro in F'_2.

Le lenti come la L' sono divergenti, esse hanno i loro due fochi virtuali.

Si dimostra che anche per le lenti divergenti esiste un centro ottico C come lo si è dimostrato per le convergenti.

Si può giovarsi pure delle proprietà dei fochi principali e del centro

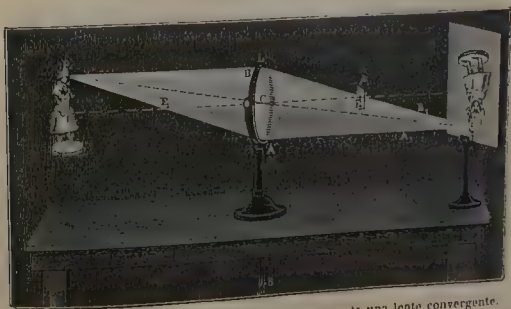



Fig. 140. — Costruzione dell'imagine di un punto data da una lente convergente.

ottico delle lenti divergenti per costruire le imagini che essa danno degli oggetti.

La figura 142 rappresenta la costruzione dell'imagine P' del punto P, per una lente divergente, e la si spiega come venne precedentemente esposto per le lenti convergenti.

Esaminiamo qualche applicazione delle lenti convergenti. La figura 140 mostra che un oggetto disposto dietro una lente convergente al di là del foco in P viene a formare la sua imagine davanti alla lente convergente nel piano P' conjugato di P. E quella imagine è più grande dell'oggetto e capovolta rispetto all'oggetto stesso.

L'imagine essendo reale la si vedrà dipingersi sopra uno schermo situato in P', e sarà dritta se si usa la precauzione di capovolgere l'oggetto.

In ciò consiste il principio degli istrumenti che si chiamano, a seconda dei casi, lanterna magica, fantascopio, megascopio, microscopio foto-elettrico, microscopio solare, ecc.

Arrestiamoci un istante per parlare della *lanterna magica* che sembra

essere stata conosciuta sin dall'antichità. Infatti una tale lanterna sarebbe stata trovata fra le rovine di Ercolano.

Essa fu ricostruita dal padre Kircher, verso il 1645. Questi nella sua *Ars magna — la grande arte della luce e dell'ombra*, dichiara di averne appreso il metodo da Rodolfo II, quell'imperatore di Germania cui Keplero dedicò le sue tavole del movimento dei pianeti sotto il titolo di *tavole rodolfiane*.

La *lanterna magica* (fig. 143) consta di una lente L che projetta sullo schermo E l'imagine di un disegno D, dipinto sul vetro per mezzo di colori translucidi, e portato sopra scorsoi CC, ovvero anche l'imagine di una fotografia sul vetro. Il disegno è illuminato da un sistema costituito da una lampada B, d'un riflettore R e di una lente L'.

Una lieve modificazione della lanterna magica conduce al fantascopio (1).

Fig. 141. — Fuochi principali virtuali di una lente divergente.

Questo apparecchio non è altro che una lanterna magica montata sopra un sostegno a rotelle.

Lo schermo che riceve l'imagine è generalmente di percallo e situato fra la lanterna e gli spettatori.

Nel tempo stesso che la lanterna si avvicina o si allontana dallo schermo, un movimento opportunamente combinato sposta la lente dell'apparecchio in guisa da mantenere lo schermo nel piano conjugato di quello ove trovasi l'oggetto, oltre a ciò un diaframma formato di due lamine articolate come quelle delle forbici lascia passare maggiore o minore quantità di luce. Tutto è predisposto perchè l'imagine diminuisca di splendore nel tempo stesso che si impicciolisce come nel caso di un oggetto che si allontana. La lastra di vetro che porta i disegni translucidi, non è trasparente che là ove esiste il disegno, in tutte le altre parti è opaca.

Gli spettatori immersi nel bujo e che per conseguenza non possiedono nessun mezzo per giudicare delle distanze, credono di vedere l'imagine ora avvicinarsi ora allontanarsi.

(1) *Fantascopio*, dal greco φαντασμα (fantasma) fantasma, e σκοπεω (scopeo) vedo.

La *fantasmagoria* (1) che il prestidigitatore Robertson introdusse in Francia nel 1798, è basata sull'uso del fantascopio.

Gli effetti prodotti dall'apparecchio di Robertson stupefecero il pubblico il quale, in luogo di ascrivere il fatto a singolari fenomeni d'ottica, lo volle dovuto ad artificii sopranaturali, come ne fa testimonianza il seguente racconto di una seduta fantasmagorica, firmato dal convenzionale Poultier d'Elmotte, nel suo giornale l'*Amico delle leggi*, del 8 germinale anno VI:

« Il 4 germinale io mi trovai, assieme ad una sessantina di persone, in una sala bene illuminata, al padiglione dell'Echiquier, n. 18. Alle sette precise, un uomo pallido, magro, entrò nella sala ove eravamo.

« Dopo avere smorzato i lumi, egli disse: « Cittadini e signori, io non

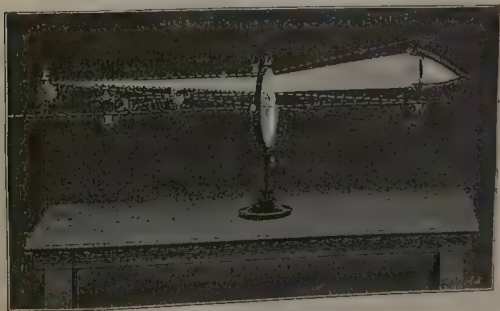



Fig. 142. — Costruzione dell'imagine di un oggetto data da una lente divergente.

« sono uno di quegli avventurieri, di quei ciarlatani sfrontati che usano
« promettere più di quello che possono mantenere: ho affermato che
« risusciterei i morti, e li risusciterò. Quelli di voi che desiderano
« veder apparire persone che lor furono care, e la cui vita ebbe ter-
« mine per cagione di una malattia od altrimenti, non hanno che da
« parlare, io obbedirò subito ai loro ordini. » — Vi fu un istante di silenzio; poi un uomo in disordine, coi capelli irti, coll'occhio tristo e smarrito, prese a dire: « Poichè non ho potuto ristabilire il culto di
« Marat, vorrei almeno vedere la sua ombra. »

« Robertson versa su un fornello ardente due bicchieri di sangue, una bottiglia di vetriolo, dodici goccie di acqua forte, e due esemplari del *Giornale degli uomini liberi*. Di subito incomincia lentamente a sollevarsi un piccolo fantasma livido, orribile, armato di un pugnale e col capo coperto da un berretto rosso: l'uomo dai capelli irti lo riconosce per Marat; vuole abbracciarlo; il fantasma fa una smorfia spaventevole e sparisce...

(1) Dal greco φαντασμα e ἀγορά (agora): assemblea di fantasmi.

« ... Robertson annuncia di poi che può far vedere ai malvagi le ombre delle vittime che essi hanno fatto, e appena detto ciò getta sopra un braciere il processo verbale del 31 maggio, quello dei massacri delle prigioni d'Aix, di Marsiglia e di Tarascon, una raccolta di denunzie e di decreti, una lista di sospetti, la collezione delle sentenze del tribunale rivoluzionario, un fascio di giornali demagogici ed aristocratici, un esemplare del *Risveglio del popolo*, poi pronuncia con enfasi le parole magiche: *Cospiratori, umanità, terrorista, giustizia, giacobino, salute pubblica, esagerato, allarmista, incettatore, girondino, moderato, orleanista*... Immediatamente si veggon levarsi gruppi di

Fig 113. — Applicazione delle lenti convergenti: la lanterna magica.

gente coperta di veli insanguinati; essi circondano, spingono i due individui che avevano ricusato di arrendersi al voto generale, e che, spaventati da quel terribile spettacolo, escono a precipizio dalla sala, mandando urla spaventose... Uno era Barère e l'altro Cambon.

« La seduta stava per finire, allorchè un insorto della Vandea amnistiato, ed impiegato nei carriaggi della Repubblica, domandò a Robertson se avesse potuto far ritornare Luigi XVI. A tale domanda indiscreta Robertson rispose con molta avvedutezza: « Io aveva una « ricetta per fare ciò prima del 18 fruttidoro; l'ho perduta dopo quel- « l'epoca; è probabile che io non la ritrovi mai più, e ormai sarà im- « possibile di far ritornare i re in Francia. »

Robertson racconta nelle sue *Memorie* che continuamente si presentavano a lui giovani che volevano rivedere l'ombra della loro fidan-

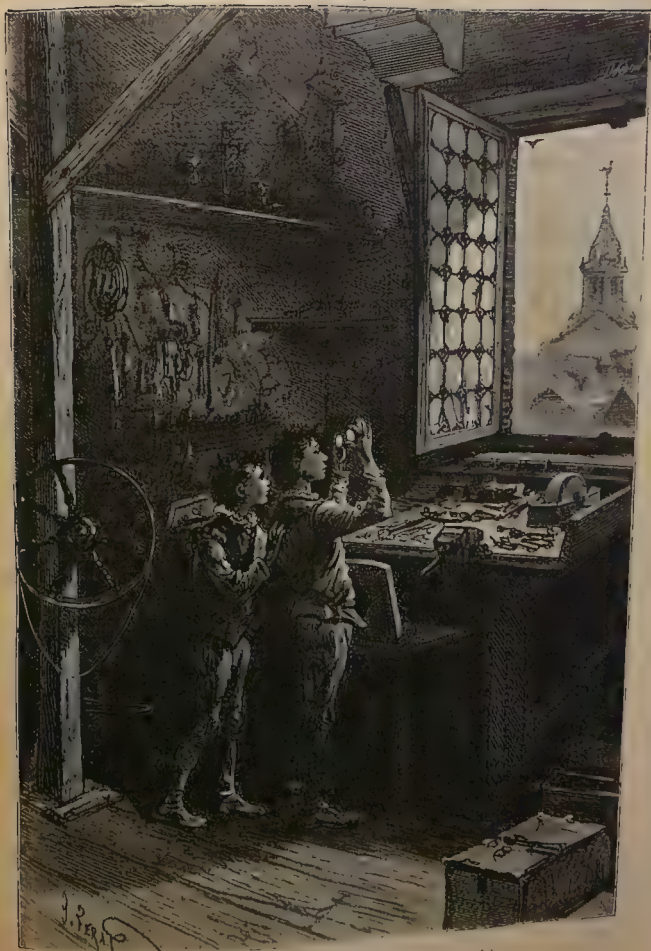



Fig. 141. — Invenzione del telescopio (secondo la leggenda) per parte dei figli d'un fabbricatore di lenti di Middelburgo, nel 1590

zata, donne che lo pregavano di evocare quella dei loro mariti, orfani quella del loro padre o della loro madre.

« Benchè ascoltassi con deferenza il racconto dei loro affanni, egli dice, io mi adoperava del mio meglio per disingannarli, farli persuasi dell'inutilità delle loro suppliche, ed i miei sforzi non restavano infruttuosi. Una sola volta a nulla giovarono e fu dinanzi all'esaltazione di una vedova di cui avevo conosciuto il marito, che era maestro di musica alla cappella di Versailles. La vedovella inconsolabile concepì la speranza che io avrei potuto farle apparire l'ombra dell'adorato consorte, e dal momento che la concepì divenne un' idea fissa, una quasi monomania, che niun argomento valse ad indebolire. Ella mi accusava di crudeltà, diceva che io godeva nel prolungare ed accrescere il suo dolore col mio rifiuto; io vedeva in lei una donna sul punto di smarrire il senno. Che fare in tal frangente? Mi indirizzai alla polizia e domandai il permesso di addolcire il dolore di quella poveretta completando un errore che non sarebbe stato possibile di correggere in altro modo che traducendolo in fatto. Il permesso mi venne largito. Allora io mi adoperai a persuaderla che se l'evocazione domandatami era possibile, il potere di produrla non esisteva in me che per una sola ed unica volta. Disegnai a memoria i lineamenti di suo marito, certo che l'imaginazione ammalata della spettatrice avrebbe completato il quadro. In fatti, appena apparve l'ombra ella esclamò:

« — O mio marito, mio diletto marito, io ti riveggo! Sei tu, rimani! rimani! non lasciarmi sì presto! — L'ombra si era avvicinata quasi sino sotto gli occhi della poveretta che mosse per abbracciarla; ma la visione scomparve ed allora essa rimase interdetta, poi proruppe in lagrime. Mi ringraziò, disse che aveva la certezza che suo marito la udiva, la vedeva ancora, e che tale certezza sarebbe stata per lei una consolazione ineffabile per tutta la vita. »

Il celebre artista italiano, Benvenuto Cellini, descrisse nelle sue *Memorie* (libro III, capitolo LXIV, intitolato: « Il prete negromante ») una stranissima scena di fantasmagoria, della quale fu uno dei principali attori (1). Questa scena avveniva nel 1534.

« Strinsi amicizia, scrive il Cellini, con un prete siciliano, uomo di molta intelligenza e versatissimo nella conoscenza degli autori greci e latini. Un giorno la conversazione si volse sull'arte della negromanzia, ed io gli dissi che nutriva desiderio vivissimo di conoscere qualche cosa in proposito, e che sino da giovanetto era compreso da grande curiosità di penetrare i misteri di quell'arte.

« Il prete mi rispose che per istudiare quell' arte bisognava essere dotati di un carattere energico ed intraprendente, ed io gli risposi che non mancava nè di coraggio nè di risolutezza, e che lo avrei dimostrato se l'occasione di istruirmi mi si fosse offerta. Il prete soggiunse: Se avete coraggio di provare, io vi procurerò tale soddisfazione: allora concertammo un piano di studio di negromanzia. Una

(1) Chi in luogo di una parafrasi bramasse leggere il racconto di questa strana avventura nella forma originale datagli dal protagonista, apra il volume della *Biblioteca classica economica* dell'editore Edoardo Sonzogno, intitolato *Vita di Benvenuto Cellini, scritta da lui medesimo*, a pag. 109 e seguenti.

Nota del Trad.

sera il prete si preparò a compiacermi e desiderò che conducessi meco uno o due compagni.

« Presi con me Vincenzo Romoli ed Agnolino Gaddi, miei intimi amici, ed un ragazzo di dodici anni che aveva al mio servizio. Quando arrivammo al Colosseo, il prete ci fece entrare nel circolo che egli aveva tracciato con un' arte potente ed in modo solenne. Dopo ciò, avendo lasciato la cura di mantenere il fuoco ed i profumi al mio amico Vincenzo coadjuvato dall'Agnolino Gaddi, mi pose fra le mani il talismano ordinandomi di girarlo verso i punti che egli mi avrebbe indicato. Il mio giovane allievo era situato sotto al mio talismano. Il mago incominciò a fare le sue terribili invocazioni, chiamando pel loro nome una moltitudine di demonii che erano i capi delle diverse legioni, e li scongiurò, nel nome di Dio eterno ed increato che vive e vivrà per sempre, in lingua ebraica, in latino ed in greco. Ben presto il Colosseo fu invaso da una moltitudine di demonii. Il prete mi disse: « Benvenuto, domanda loro qualche cosa. » Io risposi desiderare che mi riunissero alla mia siciliana Angelica. Il negromante si volse a me e mi disse: « Non li hai uditi annunziarti che fra un mese ti troverai con essa? »

« Allora, mi raccomandò di tenermi ben stretto a lui, perchè le legioni presenti oltrepassavano di parecchie migliaja quello che aveva evocate, ed erano delle più cattive; poi, che era mestieri trattarle con dolcezza perchè avevano risposto alla mia domanda e rimandarle tranquillamente. Il giovinetto sotto il talismano; tremava dallo spavento e diceva che vi era in quel luogo un milione di uomini feroci che si sforzavano di sterminarci; e che quattro giganti armati, di statura enorme, tentavano di rompere il nostro cerchio. Intanto che il mago, colto dalla paura, si studiava con parole dolci e persuasive di rimandarli meglio che poteva, Vincenzo Romoli tremava come una foglia attendendo ai suoi profumi. Benchè io fossi più spaventato di tutti gli altri, mi studiava di celare il terrore che mi invadeva; ma la verità si è che io mi teneva perduto, scorgendo l'orribile pallidezza del negromante. Il ragazzo si cacciò la testa fra le ginocchia e disse: Morirò in questo atteggiamento, perchè certamente noi tutti periremo. Io gli dissi allora: « Quelle creature sono tutte inferiori a noi, e ciò che tu vedi è come ombra e fumo. » Io gli imposi dunque di risollevare la testa e di farsi coraggio. Non l'avea ancora tutta risollevata, che esclamò: « Tutto l'anfiteatro è in fiamme ed il fuoco viene verso di noi. » Allora coprendosi gli occhi colle mani, gridò di nuovo, che quella distruzione era inevitabile e che desiderava di non vederne di più. Il prete mi supplicò di tener duro e di far bruciare dell'assa fetida; ed io, rivoltomi a Romoli, gli ordinai di gettar subito l'assa fetida sul fuoco. Nel tempo stesso portai gli sguardi sull'Agnolino Gaddi che era terrificato così che a mala pena poteva distinguere gli oggetti e sembrava aver perduto la testa. Vedendolo così smarrito gli gridai: « Agnolino, in questi casi un uomo non deve mostrare di aver paura, ma superarsi e studiarsi di assistere gli altri. » Il ragazzo udendomi si arrischiò a sollevare un po' di più la testa, e si rassicurò un poco dicendo che i demonii fuggivano a precipizio.

« Noi restammo così sino a che le campane suonarono l'*Ave Maria* del mattino. Il ragazzo ci disse ancora che non restavano più che al-

cuni demonii, e che erano molto lontani. Finalmente, quando il negromante ebbe compiuto il rimanente delle sue cerimonie, spogliato il suo abito e raccolto un grosso pacco di libri che aveva portato, uscimmo assieme dal cerchio, tenendoci più stretti che fosse possibile.

« Mentre ritornavamo a casa nostra in via dei Banchi, il ragazzo ci disse che due dei demonii che avevamo veduto al Colosseo ci camminavano dinanzi, saltando e qualche volta correndo sul tetto delle case. Il prete dichiarò che, sebbene fosse entrato spesse volte nei cerchi magici, non gli era mai capitato un caso così straordinario. »

Un fatto impreveduto, una rissa col mercante fiorentino Benedetto, obbligò Benvenuto a scappare da Roma; toccò Napoli, ove un caso lo riunì alla sua Angelica:

« Ed in mentre che in questo piacere io gioiva, scrive il Cellini (capitolo LXVIII, della *Vita*), mi sovvenne che quel giorno appunto spirava il mese che mi fu promesso nel circulo di negromanzia dalli demonii. Sicchè consideri ogni uomo che si impaccia con loro i pericoli inistimabili che io ho passati » (1).

Davide Brewster, nelle sue *Lettere sulla magia naturale*, afferma che Benvenuto Cellini ed i suoi compagni furon giuoco di semplici fenomeni ottici prodotti sia da una lanterna magica, o da un fantascopio, sia da giuochi di specchi concavi.

Accettiamo l'opinione di Brewster, ma confessiamo che i prestidigitatori moderni hanno perduto la ricetta di sì sorprendenti artificii.

Esiste una lente naturale, ed è il cristallino, uno degli elementi più essenziali dell'occhio.

È il cristallino che dà l'imagine degli oggetti esterni, esso si colloca sempre in guisa da portare quelle imagini sul fondo dell'occhio ove esse sono ricevute da uno schermo che si chiama la retina (2). La quale retina deriva dalla espansione di un nervo incombenzato di trasmettere al cervello le impressioni luminose, e che appunto per ciò viene chiamato nervo ottico.

Si vedrà formarsi le imagini degli oggetti esterni sul fondo dell'occhio da poco estratto dal cadavere di un animale e spogliato dei muscoli e dei grassi che lo circondano, introducendolo in un'apertura praticata nell'imposta di una camera oscura, quando per altro si sia assottigliata la membrana opaca, o sclerotica che lo involge per la massima parte. È superfluo l'aggiungere che quell'occhio deve essere aperto e deve guardare verso l'esterno della camera.

In questo esperimento si riconosce eziandio che le imagini che si dipingono sulla retina sono capovolte rispetto agli oggetti esterni, il che doveva essere, dato il modo in cui si formano le imagini, da noi già indicato.

A questo proposito, sorge naturalissima la domanda: Come va che quelle imagini a noi sembrano dritte? Confessiamolo francamente, su questo argomento non sappiamo nulla. Gli uni pensano che è ad una

(1) Opera ed edizione sopracitata pag. 170.

(2) Se il cristallino è troppo convergente, l'imagine si forma al di qua della retina (è il caso della miopia); si corregge questo difetto mettendo dinanzi all'occhio una lente divergente che, diminuendo la convergenza dei raggi, riporta l'imagine sulla retina. Se il cristallino non è sufficientemente convergente, l'imagine si forma al di là della retina (ed è il caso del presbitismo); in questo caso si usano occhiali a lenti convergenti.

vera educazione dell'occhio che noi siam debitori della facoltà di raddrizzare le imagini. Altri suppongono che le imagini di tutti gli oggetti arrivandoci rovesciate, noi manchiamo di termini di confronto.

Un'ultima ipotesi è questa: il cervello possiede la nozione della direzione che prendono i raggi luminosi che vengono a toccare la retina, ne rettifica il senso.

L'impressione delle imagini sulla retina persiste per un certo tempo, una frazione di secondo, dopo che l'oggetto che ha prodotto quell'impressione è scomparso o si è allontanato. Gli è perciò che se si fa girare rapidamente un carbone, un fiammifero in ignizione, si crede di vedere un cerchio continuo di fuoco. Facendo girare un cerchio sul quale sono dipinti diversi colori, questi si confondono e danno la sensazione del colore che risulterebbe dalla loro mescolanza.

Un giocattolo da fanciulli, ben noto, il fenachisticopio, si spiega mediante il fatto della persistenza dalle imagini sulla retina.

Noi faremo notare altresì il caso delle imagini accidentali o consecutive. Pochissimi saranno coloro che non posero attenzione al fatto che l'occhio, dopo essere stato colpito da una viva luce, conserva la sensazione di un altro colore. Se per esempio si guarda fissamente e per qualche tempo un disegno bianco ben illuminato, e se poscia si dirigono gli occhi sopra un cartone bianco o sopra un soffitto bianco egualmente illuminato, si vede una imagine nera del disegno. Per un oggetto verde l'imagine sembra rossa; per un oggetto giallo, l'imagine è violetta. L'imagine percepita ha sempre l'identica forma del disegno, ma è di un colore « complementare » vale a dire di un colore che formerebbe il bianco se fosse riunito a quello del disegno. (Veggasi la figura del 1.º esperimento.)

Furono proposte molte teorie per spiegare il fenomeno delle « imagini accidentali » ma nessuna è soddisfacente. Noi citeremo solo quelle di Darwin e di Plateau. Secondo Darwin, la parte della retina stancata da un colore diventa insensibile ai raggi di quel colore e, da quel momento in poi non può essere impressionata che dal suo colore complementare.

Secondo Plateau, la retina sembra resistere all'impressione che riceve con una reazione opposta, che persiste dopo che l'impressione ha cessato. Gli è perciò che essa vede nero dopo l'impressione del bianco, bianco dopo l'impressione del nero, verde dopo il rosso, ecc., e che poi ritorna allo stato di riposo per mezzo di reazioni secondarie che producono quelle alternative.

Nella sua *Grammatica delle arti del disegno*, Carlo Blanc racconta che il celebre pittore Eugenio Delacroix, intento a dipingere una tenda gialla, si disperava non potendo riuscire a darle la vivezza che avrebbe desiderato. Egli pensava: Che cosa facevano, come adoperavano Rubens e Veronese per trovare sì bei gialli e ottenerli sì brillanti? Stanco di pensare risolvette di andarsene al Louvre e mandò a cercare una carrozza. Eravamo nel 1830 ed in quell'epoca c'erano a Parigi molte vetture pubbliche dipinte in color giallo canarino, e fu una di quelle che gli si condusse.

Nell'atto di salirvi, Delacroix si fermò di botto, osservando con sua somma meraviglia che il giallo della vettura produceva violetto nelle ombre. Immediatamente congedò il fiaccherajo, e rientrato in casa tutto

preoccupato, applicò sull'istante la legge che aveva testè scoperto, cioè che l'ombra si colora sempre leggiermente col colore complementare del chiaro, fenomeno che diventa in ispecial modo sensibile quando la luce del sole non è troppo intensa e che i nostri occhi guardano sopra un fondo atto a far vedere il colore complementare.

Esaminiamo ora come avviene che la distanza diminuisca ai nostri occhi le dimensioni di un oggetto.

L'imagine della testa $A\,B$ è nella retina in $a\,b$ (fig. 145). Se $A\,B$ si allontana sempre più, l'angolo $A\,C\,B$ diminuisce e lo stesso succede per l'imagine retiniana $a\,b$. Gli è per questa ragione che gli oggetti lontani ci sembrano molto più piccoli degli oggetti stessi situati più presso a noi.

L'angolo $A\,O\,B$ sotto il quale l'occhio vede l'oggetto $A\,B$ si chiama *diametro apparente* di quell'oggetto.

Ed è dalla grandezza di quell'angolo che dipende quella dell'imagine retiniana e per conseguenza anche la chiarezza della visione dell'oggetto $A\,B$.

Questo è un fatto fondamentale.

Due oggetti veduti sotto il medesimo diametro apparente ed illuminati allo stesso modo sono veduti colla medesima chiarezza. Se non che il più grande dei due oggetti sarà veduto pure più da lontano.

Costruire un telescopio vuol dire combinare lenti e specchi in modo tale che il sistema, interposto fra l'occhio e l'oggetto lontano osservato, produca il medesimo effetto che si avrebbe se l'oggetto stesso si avvicinasse all'occhio, vale a dire sostituisca all'oggetto una sua imagine veduta dall'occhio sotto un angolo più grande.

Secondo la leggenda, il telescopio sarebbe stato inventato dai figli di un fabbricatore di lenti di Middelburgo, capoluogo della Zelanda (Paesi Bassi). Quei fanciulli avendo per caso osservato il gallo del campanile vicino attraverso una lente convergente seguita dalla parte dell'occhio da una lente divergente, videro il gallo avvicinato ed ingrandito (fig. 144). Il padre loro, reso edotto del fatto, per costruire il primo telescopio, non ebbe che da appostare opportunamente le due lenti in un tubo.

La massima parte degli scrittori danno a quel fabbricatore di lenti il nome di Giovanni Lippershey.

Mercè uno scienziato francese del secolo XVII, il cui nome è troppo dimenticato, noi ci troviamo in grado di rettificare la leggenda e di restituire l'invenzione del telescopio al suo vero autore.

Pietro Borel, medico ordinario e consigliere di Luigi XIV, membro dell'Accademia delle Scienze, lasciò, fra le altre sue opere (1) un libro assai singolare intitolato *De vero telescopii inventore*, cioè: Del vero inventore del telescopio.

Quell'opera, inspirata dall'amore della verità, fu composta nel 1655, il che è quanto dire sessantacinque anni solamente dopo l'invenzione del telescopio. Pietro Borel, attesa l'estensione delle sue relazioni, era in

(1) Pietro Borel, nato a Castres nel 1620, morto a Parigi nel 1689, medico, chimico ed antiquario; fra le sue numerose opere si citano: una *Raccolta di osservazioni medico-fisiche* (1653); una *Vita di Cartesio*, la *Biblioteca dei filosofi ermetici* (1654); il *Tesoro delle Ricerche di Antichità galliche* (1655) ed il *Discorso comprovante la pluralità dei mondi* (1657).

grado di procurarsi i documenti più esatti intorno all'argomento che trattava. Noi dunque possiamo con piena fiducia appoggiarci a lui ed al suo libro dedicato « al Senato ed al popolo middelburghese. »

Dopo essersi meravigliato ed aver lamentato che nessuno conosca ancora il nome dell'inventore del telescopio, che tutte le nazioni si attribuiscono; dopo aver dimostrato che l'inventore non è nè Galileo, nè l'olandese Mezio, nè il suo compaesano Cornelio Drebel, egli scrive nel capitolo XII, intitolato: Del vero nome dell'inventore:

« L'inventore del telescopio è *Zaccaria Jansen*, un esperto artefice di occhiali che viveva a Middelburgo (Zelanda). Nell'anno 1590, egli avvicinò al suo occhio, non per caso, ma dietro un'inspirazione della mente, due lenti da occhiali, cioè una lente concava ed una lente convessa, ed avendolo applicato ad un tubo, ebbe, secondo Cartesio, la somma ventura di trovare il telescopio.

« Egli fu indotto a tentare quelle prove dal suo ardente desiderio di scoprire i secreti dell'ottica, nella quale era già esperto. Perciò Cartesio si duole a torto che questa invenzione sì utile e sì mirabile, a disdoro della scienza, si debba al caso, ad esperimenti incerti.

« Ciò non è vero, perchè invece è accertato che l'artefice di Middelburgo scoprì il telescopio a forza di ricerche; egli costruì da prima dei tubi di sedici pollici che offrì al principe Maurizio di Sassonia ed all'arciduca Alberto, come proveremo più innanzi con testimonianze ineccepibili. Per quei telescopii egli ricevette compensi in danaro, ma fu invitato a non spingere le cose più innanzi affinchè solo quei due principi potessero servirsene in guerra. Per amore di patria, obbedì. Ed è per questa ragione che l'inventore del telescopio rimase lungo tempo sconosciuto.

« Zaccaria Jansen scoprì poscia il microscopio, come risulta evidentemente dalle prove seguenti » (1).

Pietro Borel a suffragio delle sue parole cita un gran numero di attestati o di testimonianze di alti personaggi comprovanti *che l'invenzione del telescopio nel 1590, e l'invenzione del microscopio che le tenne dietro, sono realmente opera di Zaccaria Jansen.*

Il libro di Pietro Borel contiene due ritratti incisi. L'uno ha come epigrafe: « ZACCARIA JANSEN, *primo inventore* » (2) sotto l'altro si legge « *Hans Lipperhey*, secondo inventore. »

Questo « secondo inventore » che Borel chiama « Lipperhey » e non

---

(1) *De vero Telescopii inventore*, cap. XII de inventoris vero nomine: « Zacharias Jansen inventor est verus Telescopii: eratque autem conspiciliorum artifex peritissimus Middelburgensis Zeelandus, qui, anno 1590, admotis (non fato quodam) oculo duobus conspicillis, nempe lentem cavam et convexam, tuboque inmunis felicissime (ut vult Cartesius) invenit Telescopium. Sed rerum abstrusarum et reconditarum in optica, quam callebat, desiderio flagrans, ad haec tentanda motus fuit: quare male conqueritur Cartesius, hoc inventum adeo utile et mirandum, scientiarum nostrarum opprobrio, vagis experimentis, et casui fortuito deberi. Telescopium ergo Artifex noster eruendo ex professo indigavit, et Tubos 16 pollicium primo fecit, optimum tamen, quem principibus Mauritio et Archiduci Alberto, ut testimoniis infra prolatis bibimus, obtulit, pro quibus pecunias accepit, rogatus ne rem amplius propalaret ut ipsi eo uti interim ad bellica possent, quibus ille in patriae gratiam obtemperavit, et sic diu delituit in obscuro Inventor noster. Invenit praeterea Microscopium ut testimoniis patebit sequentibus. »

(2) *Zacharias Jansen sive Joannides primus conspiciliorum inventor.* (*Joannides* traduzione latina di Jansen; Conspicilium, istrumento di osservazione, d'ottica.) Borel ha senza dubbio usato quel vocabolo per indicare ad un tempo il Telescopio ed il Microscopio.

« Lippershey » era un fabbricatore di occhiali a Middelburgo, ma era nato a Wesel in Prussia.

Secondo gli *Archivii* di La Haye, codesto Hans Lipperhey rivolse, il 2 ottobre 1606, agli Stati generali dei Paesi Bassi una domanda di brevetto per un istrumento « che serviva a far vedere da lontano. »

Gli Stati decisero che si doveva ricusare a Lipperhey il richiesto brevetto « perchè era notorio che già varie altre persone avevano avuto cognizione di una consimile invenzione. »

Ci sembra dunque ormai dimostrato che il vero inventore del telescopio è *Zaccaria Jansen*.

Questo primo telescopio, che conservò per lungo tempo il nome di cannocchiale batavo od olandese, si chiama in oggi cannocchiale di Galileo.

In fatti, sul finire dell'anno 1608 Galileo seppe indovinare la costruzione del cannocchiale di ingrandimento olandese del quale conosceva l'esistenza; di più seppe farne uso nelle osservazioni astronomiche. Egli scoprì con esso successivamente i satelliti di Giove, le macchie del Sole, le montagne della Luna, le fasi di Venere, ecc. Quelle scoperte

Fig. 145. — Visione imagine degli oggetti sulla retina. — C, Cristallino.

furono sì rapide che Galileo dovette fondare uno scritto periodico, *Nuntius sidereus* (Il corriere del cielo) per farle note agli scienziati.

La figura 146 rappresenta il cammino dei raggi luminosi provenienti da un punto dell'oggetto ed il modo di formazione delle imagini in un cannocchiale di Galileo ridotto alla sua più semplice espressione.

Benchè l'oggetto $A B$ sia lontano dal cannocchiale, pure noi lo abbiamo indicato nella figura 146 per agevolarne la spiegazione.

La lente convergente L situata dalla parte dell'oggetto e che riceve per la prima i raggi luminosi inviati dall'oggetto stesso, viene in questo caso, come anche in tutti gli altri istrumenti d'ottica, chiamata la lente obbiettiva, o più semplicemente l'obbiettivo del cannocchiale.

La lente divergente L', situata presso l'occhio ed a traverso della quale si guarda, è la lente oculare o più brevemente l'oculare (1).

Dove va a formarsi l'imagine del punto A? Se la lente L esistesse da sola, si vede - tracciando il raggio $A C$ che, passando pel centro ottico della lente la attraversa senza deviare, ed il raggio $A F_1$ che, passando pel foco della lente convergente ne esce parallelamente al-

(1) Dal latino *oculus*, occhio.

l'asse $F_1 F_2$ — che l'imagine di A si produrrebbe in A'. L'obbiettivo dunque darebbe in $A' B'$ un'imagine reale e capovolta dell'oggetto.

Ma quella imagine non può formarsi se una lente divergente L' viene interposta sul tragitto della luce, e noi la supporremo collocata in guisa che il suo foco f_2, sia al di qua dell'imagine $A' B'$ che si sarebbe prodotta col solo obbiettivo.

Ove questa imagine verrà dunque riportata?

Per saperlo consideriamo prima di tutto il raggio $A F_1$ che cade sulla lente L' parallelamente al suo asse $f_1 f_2$; quel raggio diverge in NP al suo uscire dalla lente, ma si sa che deve passare — col suo prolungamento $N f_1$ — pel foco f_1 della lente. L'imagine di A sarà dunque riportata in qualche parte del prolungamento $N f_1$ del raggio NP. Inoltre, il raggio $A D C'$, che venendo da A, attraverserebbe la lente divergente pel suo centro ottico C, esce senza deviazione secondo $C A'$; l'imagine

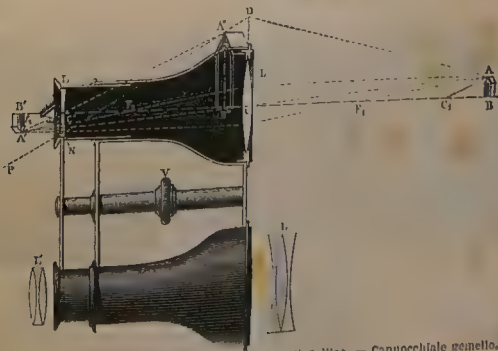



Fig. 116. — Cammino dei raggi nel cannocchiale di Galileo. — Cannocchiale gemello. Obbiettivo L ed oculare L' acromatici.

di A vien dunque per ciò riportata in qualche parte sul prolungamento del raggio $C A'$.

L'imagine di A è per conseguenza A'', intersezione dei raggi NP e $C A'$ prolungati.

L'occhio che guarda in C e che prolunga istintivamente i raggi di luce che gli arrivano, vede in $A'' B''$ l'imagine dell'oggetto $A B$. Ma quell'imagine è fittizia, virtuale, poichè non son punto i raggi che si incontrano in $A'' B''$ ma soltanto i loro prolungamenti geometrici.

Se noi supponiamo l'apertura dell'occhio, la *pupilla*, situata molto vicina al punto C, essa vede, dopo soppresse le lenti, l'oggetto $A B$ sotto l'angolo $A C B$; per lo contrario, attraverso l'istrumento, essa vede l'oggetto in $A'' B''$ sotto un angolo molto più grande $A'' C B''$.

L'oggetto sarà dunque veduto più chiaramente e con tutti i suoi particolari.

Le cose avvengono come se l'occhio andasse a collocarsi vicino ad

$A\,B$ in un punto C_1, tale che l'angolo $A\,C_1\,B$ fosse eguale all'angolo $A''\,C\,B''$.

L'effetto dell'istrumento è dunque quello di avvicinare l'osservatore all'oggetto osservato.

Verso il 1611, lo studio ragionato delle lenti condusse Keplero (1) a concepire il cannocchiale astronomico ed anche il cannocchiale terrestre, che poco differisce dall'altro; ma fu il padre Scheiner (2) quegli che costruì per la prima volta quei due istrumenti.

La figura 147 rappresenta un cannocchiale astronomico, ridotto ai suoi elementi essenziali: L è un obbiettivo convergente, L' un oculare parimenti convergente. Si vedono in F_1 ed F_2 i fochi principali dell'obbiettivo ed in f_1 ed f_2 i fochi principali dell'oculare.

Le imagini $A'\,B'$ e $A''\,B''$ si formano secondo le regole ordinarie, che sarebbe nojoso il tornar sempre a ripetere. Accompagnando i raggi che vengono da A, il lettore vedrà senza fatica che $A'\,B'$ è un' imagine

Fig. 147. — Cammino dei raggi in un cannocchiale astronomico.

reale e capovolta dell'oggetto $A\,B$ data dall'obbiettivo L e che $A''\,B''$ è l'imagine virtuale e capovolta dell'oggetto $A\,B$ formata dai raggi dopo il loro passaggio attraverso l'oculare L'. Questa è l' imagine che l'occhio vede.

La pupilla dell'occhio essendo in C', vede l'imagine $A''\,B'$ sotto l'angolo $A'\,C\,B''$ assai più grande che non sia l'angolo vicinissimo $A\,C\,B$ — poichè C relativamente alla distanza $B\,C$ è vicino a C' — sotto il quale l'occhio vedrebbe $A\,B$ se guardasse direttamente quella piccola linea retta.

Il capovolgimento degli oggetti non presenta nessun inconveniente per le osservazioni astronomiche, ma è assai nojoso quando si tratta di guardare un monumento, un paesaggio lontano. Per raddrizzare le imagini oggi si impiega un sistema di due lenti convergenti opportu-

(1) Keplero o Giovanni Keppler, uno dei creatori dell'astronomia moderna, nato a Magstatt nel Wurtemberg nel 1571, morto a Ratisbona il 15 novembre 1630, aveva incominciato col essere cameriere d'osteria presso suo padre, un borgomastro rovinato. Autore di celebri opere d'astronomia: il *Prodromo*, le *Tavole*, la *Nuova Astronomia*, scoprì fra le altre cose, che le orbite dei pianeti sono ellissi delle quali il sole occupa un foco.

(2) Scheiner, gesuita ed astronomo tedesco, nato in Svevia nel 1575, morto a Neiss (Slesia) 1650, disputò a Galileo la scoperta delle macchie del sole.

namente disposto fra l'obbiettivo e l'oculare, e ciò secondo i dettami del P. Rheita (1). Il cannocchiale astronomico è così trasformato in cannocchiale terrestre.

Tale è la teoria dei telescopii a lenti, o cannocchiali.

Gli specchi sferici danno come le lenti l'imagine degli oggetti posti davanti ad essi. Gli specchi sferici concavi producono, come abbiamo veduto, i medesimi effetti delle lenti convergenti. Basandosi su questo fatto, il padre Zucchi, gesuita italiano, concepì, nel 1616, l'idea di surrogare l'obbiettivo dei cannocchiali astronomici, che è una lente convergente, con uno specchio sferico concavo. Ciò è quanto egli afferma in un suo libro pubblicato a Lione nel 1652.

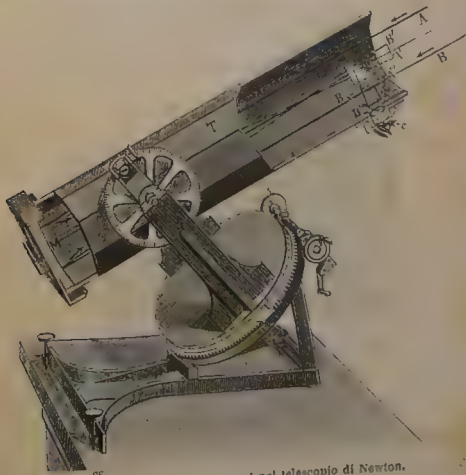



Fig. 148. — Cammino dei raggi nel telescopio di Newton.

Il telescopio a lenti è allora trasformato in un telescopio a specchio.

Il nome di *telescopio* lo si dà, sopratutto in Francia, ai telescopii a specchio.

I primi telescopii di questo genere non furono costruiti che più tardi, vale a dire nel 1663 dallo scozzese Gregory e nel 1672 da Cassegrain professore al collegio di Chartres.

Ecco come Newton ha disposto gli organi del suo telescopio (fig. 148).

(1) Il padre cappuccino Schyrle di Rheita, nato in Boemia nel 1597, morto a Ravenna nel 1660. Egli aveva creduto di scorgere cinque nuovi satelliti intorno a Giove ed aveva fatto omaggio di questa sua scoperta al papa Urbano VIII, ma ben presto si riconobbe che quei pretesi satelliti erano stelle dinanzi alle quali si trovava Giove in quell'epoca.

Lo specchio concavo obbiettivo è in M in fondo ad un tubo T; esso dà in $A' B'$ un'imagine reale e capovolta dell'oggetto $A B$. In luogo di lasciar formare quell'imagine in $A' B'$, esso la rimanda per riflessione, in $A'' B''$ per mezzo di un piccolo specchio piano o di un prisma a riflessione totale m. Quell'imagine può essere poi osservata agevolmente con un oculare convergente fissato nel tubo t che si scorge sul fianco del tubo T la cui apertura è diretta verso gli oggetti da esaminare. In questa guisa l'osservatore, non essendo in faccia all'obbiettivo, come nel telescopio d' Herschel, nel quale si vedono (fig. 155) gli osservatori collocati in una specie di gabbia presso l'apertura del telescopio per la quale entra la luce che viene dagli astri osservati, non reca nessuna perturbazione al viaggio della luce nell'istrumento.

L'oggetto guardato direttamente sarebbe veduto dall'occhio sotto un angolo piccolo, invece la sua imagine $A''' B'''$ fornita dal telescopio, viene veduta, come nei casi precedenti, sotto un angolo molto più grande $A''' C B'''$.

L'*ingrandimento lineare* di un telescopio qualunque è, per defini-

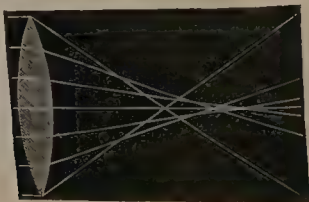



Fig. 149. — Raggi producenti la caustica di una lente.

zione, il rapporto dei due angoli sotto i quali un oggetto rettilineo $A B$ è veduto attraverso l'istrumento e ad occhio nudo.

Se il primo angolo vale trenta volte il secondo, il telescopio ingrandisce trenta volte. Questo è l'ingrandimento che ottenne Galileo.

È chiaro che in questo caso l'ingrandimento in superficie sarà eguale al quadrato dell'ingrandimento lineare, cioè sarà qui eguale a trenta volte trenta, ossia novecento.

Oggi si possiedono telescopii che ingrandiscono utilmente sino a due mila volte e più in diametro.

I telescopii attuali non son guari così semplici come noi li abbiamo supposti. Infatti le lenti e gli specchi presentano difetti o *aberrazioni* (1) che bisogna correggere se si vogliono ottenere imagini chiare.

In primo luogo la luce che ci pare bianca è in realtà, come lo ha dimostrato il sommo Newton (2), composta di luci di colori diversi.

---

(1) Dal latino *aberratio*; errore, deviazione.

(2) Isacco Newton, matematico, fisico ed astronomo inglese, nato a Woolsthorpe il 25 dicembre 1642, morto il 20 marzo 1727; autore di molte opere, fra le altre dei *Principii matematici di filosofia naturale*, suo precipuo titolo di gloria, ove rivelava la sua grande scoperta: la legge della gravitazione universale.

Quelli che dominano sono il rosso, l'aranciato, il giallo, il verde, il blu, l'indaco ed il violetto.

Quei diversi colori non seguono rigorosamente la medesima strada quando attraversano una lente, perciò questa dà imagini rosse, aranciate, ecc. dell'oggetto, imagini che non coincidono esattamente.

Questa è l'aberrazione delle lenti che si chiama *aberrazione cromatica* (1).

Considerati sotto questo punto di vista gli specchi sono superiori alle lenti perchè non soffrono d'aberrazione cromatica; essi non danno imagini iridescenti.

Le lenti inoltre, specialmente quando sono grandi, hanno un altro difetto: i raggi partiti da uno stesso punto P non vanno più in questo caso a concorrere rigorosamente in un medesimo punto P'; essi si intersecano in punti diversi in guisa da formare una superficie che vien chiamata *superficie caustica* (2). La figura 149 rappresenta alcuni

Fig. 150. — Caustica formata dai raggi riflessi nell'interno di un anello nuziale.

raggi che cadono sopra una lente grande parallelamente all'asse, dopo la loro uscita, e che, tagliandosi a due a due producono la caustica.

Questa aberrazione è conosciuta sotto il nome di *aberrazione di sfericità.*

Essa è comune alle lenti ed agli specchi, eccettuati per altro gli specchi piani. Si può osservare ad ogni istante codesta caustica degli specchi (fig. 150). Basta situare un anello metallico, un anello nuziale per esempio, sopra un foglio di carta bianca per vedere disegnarsi sulla carta la caustica relativa alla superficie riflettente dell'anello. Alla superficie del latte, del caffè, di un liquido non trasparente, che riempie incompletamente una tazza ben levigata, si vede parimente disegnarsi la caustica dei raggi riflessi dalla superficie della porzione di tazza rimasta vuota.

Com'era da aspettarselo, i costruttori di telescopii studiarono di purgare i loro istrumenti dai cattivi effetti prodotti dalle aberrazioni cromatica e di sfericità.

---

(1) Dal greco χρῶμα (chroma) colore.

(2) Dal greco καυστικός (causticos) bruciante, perchè il calore come la luce è accumulato su quella superficie.

Newton credeva cosa impossibile correggere l'aberrazione cromatica di una lente senza annullare nel tempo stesso il suo effetto sulla linea percorsa dalla luce. Leonardo Eulero (1) osservando che il cristallino è acromatico, vale a dire che non dà un'imagine colorata di un oggetto bianco, pensò che doveva esser possibile di costruire anche lenti artificiali acromatiche. Diede anzi alcune regole in proposito verso il 1753. Nel 1757 l'ottico inglese Dollond cercò di dimostrare sperimentalmente l'erroneità delle regole di Eulero. Ma ben presto si convinse che quelle regole sono esatte, e, presele per norma, fabbricò secondo i dettami di quelle le prime lenti acromatiche.

Queste lenti si ottengono associando una lente convergente, generalmente piano-convessa, di crown-glass ad una lente divergente convesso-concava, di flint-glass, per esempio. I costruttori tentando e ritentando regolarmente giunsero a stabilire una combinazione dotata di una data distanza focale e scevra di aberrazioni cromatiche e di sfericità. Nel sistema vi sono tanti elementi variabili che si rende possibile il raggiungere tale scopo. Gli obbiettivi dei cannocchiali sono costruiti in quella maniera.

In certi casi, le lenti di cui si fa uso, sono formate di tre vetri diversi, come si verifica nel cannocchiale di Galileo. In questo modo le imagini prodotte possiedono una nitidezza molto maggiore.

Siccome poi nel cannocchiale di Galileo l'obbiettivo è formato da una lente grande e gli oggetti osservati sono spesso molto vicini, senza tale precauzione le aberrazioni sarebbero forti e le imagini ottenute imperfette.

In quel cannocchiale vi sono dunque sei vetri, i quali sono incollati a tre a tre per costruire da una parte l'obbiettivo e dall'altra l'oculare. Questo oculare, come già facemmo notare, è divergente.

Nel 1691 il padre Cherubino (2), frate francescano, concepì l'idea di montare l'uno vicino all'altro due cannocchiali di Galileo in guisa che ogni occhio avesse il suo.

Questo cannocchiale binoculare perfezionato è l'attuale binocolo che i francesi chiamano *jumelle*. Esso contiene in tutto dodici vetri (fig. 146).

In tutti gli altri telescopii, l'obbiettivo solo è acromatico.

In quanto all'oculare, è formato da due lenti convergenti piano-convesse che si ponno disporre in diverse maniere.

Si usano concorrentemente, secondo lo scopo prefisso, l'oculare di Ramsden, montato nel 1782, o l'oculare di Huygens, che data dal 1656.

Ma il primo a concepire l'idea degli oculari a due vetri separati, oculari che danno risultati di gran lunga migliori di quelli formati da una sola lente L, o oculari di Keplero, fu Campani (3).

(1) Eulero, geometra, nato a Basilea il 15 aprile 1707, morto a Pietroburgo nel 1783, autore di un *Trattato di meccanica*, della *Nuova teoria della luce*, ecc.

(2) Cherubino, nato ad Orléans, autore della *Diottrica oculare*, della *Visione perfetta*; dell'*Esperienza per l'elevazione delle acque*: se si può credere a quanto asserisce in una delle sue lettere 1675 aveva inventato uno strumento col quale fece udire molto distintamente alcune parole proferite a voce bassa a ottanta passi di distanza. Il superiore del suo ordine gli proibì di divulgare quella invenzione, perchè, a suo avviso, dannosa.

(3) Giuseppe Campani, astronomo italiano del secolo XVII, costruì lunghi telescopii coll'ajuto dei quali scoprì le macchie di Giove.

L'oculare di Ramsden (1) (fig. 151) consta di due lenti L'_1 ed L'_2 piano-convesse eguali, le cui faccie sferiche sono contrapposte.

Le due lenti hanno la medesima distanza focale e sono situate in guisa che la lunghezza C_1 C_2 sia eguale ai due terzi di quella distanza focale.

Si lascia che l'imagine dell'obbiettivo si formi in A B fra f_1 e C foco e centro ottico della lente L'_1 e si guarda quell'imagine reale attraverso l'oculare L'_1 e L'_2.

L'oculare di Huygens (fig. 152) è pur esso composto di due lenti piano-convesse L'_1 ed L'_2 le cui faccie piane sono tutte e due rivolte dalla parte dell'occhio che osserva; la più grande, L'_1, nella quale cade per primo la luce che viene dall'obbiettivo, ha una distanza focale alquanto superiore alla distanza C_1 C_2 delle due lenti; la lente L'_2, che è più piccola, ha invece una distanza focale alquanto inferiore a C_1 C_2.

Quell'oculare riceve la luce che viene dall'obbiettivo prima che l'imagine da esso data possa formarsi. Ora, l'imagine degli oggetti molto lontani data da una lente, nel caso nostro dall'obbiettivo, si produce

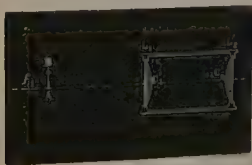



Fig. 151. — Oculare di Ramsden.

nel piano focale della lente stessa; l'oculare di Huygens è dunque situato in guisa che il foco principale dell'obbiettivo sia fra C_1 e C_2.

In conclusione, coll'oculare di Ramsden si guarda un oggetto, o ciò che è lo stesso, un'imagine reale, e coll'oculare di Huygens si guardano per lo contrario le imagini non formate davanti quell'oculare.

Per questa ragione spesso si indica il primo col nome di oculare positivo ed il secondo con quello di oculare negativo.

Tutti sanno che per veder bene si sposta il tubo che porta l'oculare sino a che l'imagine da osservarsi appaja chiara e nitida.

In ciò consiste l'operazione che dicesi di *mettere a punto*, la quale è variabile come è varia la vista di ogni singolo osservatore.

Indichiamo rapidamente il senso di certi vocaboli molto usati in ottica prendendo come esempio un cannocchiale astronomico armato di un oculare di Ramsden.

In primo luogo il *campo* dell'istrumento è la regione dello spazio ove deve trovarsi un oggetto per essere veduto attraverso l'istrumento, ben inteso quando questo ha una posizione fissa, poichè altrimenti spostandolo si potrà evidentemente vedere un oggetto qualunque.

Come abbiamo spiegato, gli oggetti molto lontani vanno a formare

(1) Jesse Ramsden, ottico inglese, 1735-1800.

la loro imagine attraverso l'obbiettivo nel piano focale di quello. Quel piano focale è al di qua dell'oculare di Ramsden che serve per guardare.

Se si considera un punto situato ai limiti del campo, lo si vedrà debolmente illuminato, perchè la luce che esso manda sull'obbiettivo incontra l'oculare soltanto in parte. Questa sorta di punti si elimina dal cannocchiale collocando nel piano focale dell'obbiettivo una piastra metallica annerita munita di un'apertura circolare opportuna e che si chiama un *diafragma* D (fig. 147).

In questa maniera il campo è meno esteso, ma ha il vantaggio di presentare all'occhio uno splendore uniforme e di essere circoscritto con precisione dall'imagine del contorno dell'apertura del diafragma data dall'oculare.

Spesso si tendono, secondo due diametri del diafragma, due fili sottilissimi a e b — (fili di platino o fili di ragno) — che costituiscono ciò che si chiama il *reticolo* del cannocchiale, rappresentato al disotto del cannocchiale astronomico (fig. 147).

Fig. 152. — Oculare di Huygens.

Il punto di incontro dei due fili si chiama la *croce* dei fili del reticolo.

La linea retta che passa pel centro ottico C dell'obbiettivo e la croce d, si chiama *asse ottico* del cannocchiale. Questa è una linea ben determinata.

Se si guarda un punto molto lontano A, si osserva che esso viene a fare la sua imagine attraverso l'obbiettivo nel punto di intersezione del piano focale dell'obbiettivo stesso e del raggio che, partendo da A, passa pel centro ottico dell'obbiettivo.

Se si sposta il cannocchiale in guisa da vedere l'imagine di A sulla croce d del reticolo, vuol dire che si sarà condotta la linea che passa per C e pel punto A sull'asse ottico $C\ d$.

Operare così significa *puntare*, *collimare* il punto A col cannocchiale, perciò all'asse ottico si dà il nome di linea di puntata ed anche di linea di collimazione.

Se al di là dell'oculare si fa muovere uno schermo bianco lungo l'asse del cannocchiale, si trova per quello schermo una posizione nella quale si dipinge sopra di esso un piccolo disco molto luminoso. Quel disco è l'imagine dell'obbiettivo data dall'oculare; tutti i raggi che vanno dall'obiettivo all'oculare passano quindi per quel disco. Esso vien chiamato *disco oculare*, poichè è là che bisogna collocare la pupilla dell'occhio se si vuol vedere con chiarezza in tutto il campo: infatti

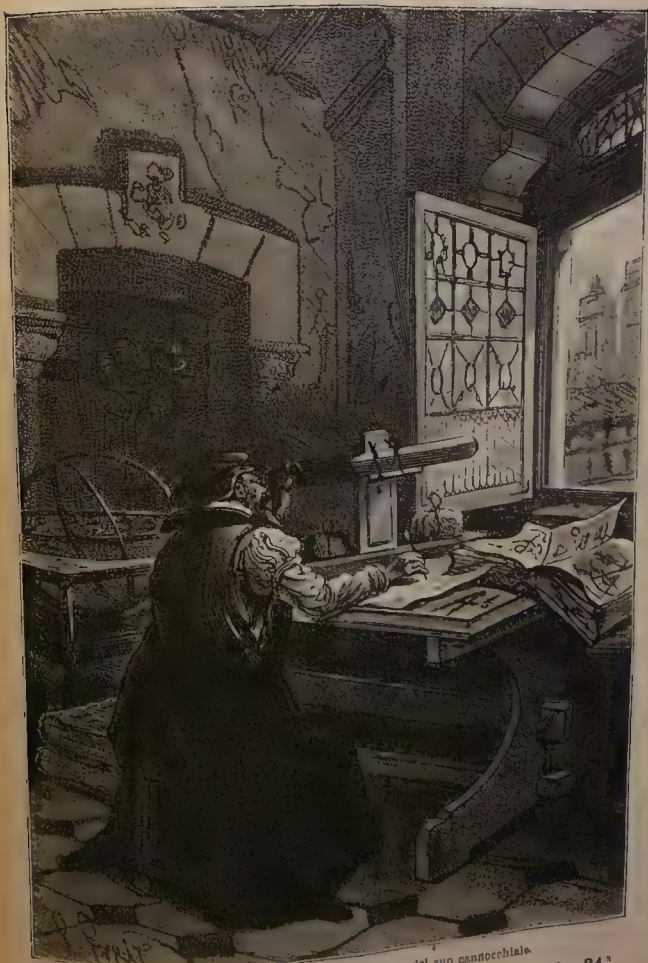



Fig. 153. — Galileo che misura l'ingrandimento del suo cannocchiale.

tutti i raggi luminosi mandati dal campo del cannocchiale attraversano quel disco.

Quel posto è marcato da un piccolo anello metallico piatto, l'*œilleton*.

Come si fa per misurare l'ingrandimento di un telescopio o di un dato cannocchiale?

Galileo (1) usava di un metodo semplicissimo (fig. 153). Egli puntava una mira lontana, per esempio un monumento a strati regolari di pietre, o meglio ancora una biffa portante divisioni eguali. Con un occhio guardava la biffa attraverso il cannocchiale e coll'altro la biffa direttamente. Per sapere quale sia la forza di ingrandimento del cannocchiale basta contare quante delle divisioni vedute ad occhio nudo siano coperte da una divisione della biffa veduta attraverso l'istrumento.

Questo metodo è un po' affaticante poichè è difficile di guardare così per alcuni istanti senza muovere gli occhi. Oltre ciò in certi casi il tubo nasconde la biffa o mira.

Pouillet (2) evitò quegli inconvenienti guardando col medesimo occhio la biffa e la sua imagine. Ecco come potè arrivare ad un tale risultato. Egli prepara davanti al cannocchiale un tubo contenente due specchi piani M e M' (fig. 154) inclinati a 45 gradi. I raggi luminosi che vengono dalla biffa si riflettono su M, poi su M' e l'occhio situato in O vede allora la biffa come se la guardasse direttamente nella direzione OM' dell'asse del cannocchiale. Lo specchio M' per una piccola parte è nudo d'amalgama, quindi l'occhio può vedere attraverso l'imagine della biffa data dal cannocchiale. Quelle due imagini per tal modo si trovano sovrapposte, perciò è facilissimo contare quante divisioni della biffa copra una divisione ingrandita. Questo metodo vien detto della camera chiara (3).

Riferendoci alla figura 147 e seguendo i raggi di costruzione della imagine, si vede immediatamente che la forza di ingrandimento di un cannocchiale è tanto più poderosa quanto più grande è la distanza focale dell'obbiettivo e quanto più piccola è quella dell'oculare.

D'altra parte l'imagine sarà tanto più illuminata quanta maggior quantità di luce l'oggetto invierà sull'obbiettivo.

---

(1) Galileo Galilei, matematico, fisico, astronomo italiano, nato a Pisa nel 1564, morto ad Arcetri il 18 gennajo 1642. Quando nel 1609 costruì il suo telescopio dietro le indicazioni inesatte che gli erano venute da Middelburgo si trovava a Venezia. Le sue osservazioni gli permisero di fare la prova del sistema inaugurato dall'astronomo polacco Nicola Copernico (1473-1543) sulla rotazione della terra intorno al suo asse e del suo movimento periodico intorno al sole. Tradotto dinanzi al tribunale dell'Inquisizione nel 1633, in età di 70 anni, Galileo fu costretto a fare questa dichiarazione: « Fui giudicato sospetto d'eresia per aver creduto che il sole fosse mobile e che la terra si movesse... Abjuro, maledico e detesto i suddetti errori ed eresie, ed in generale qualunque altro errore, ecc. » La tradizione pretende che Galileo alzandosi abbia battuto la terra col piede, mormorando « *E pur si muove!* »

(2) Claudio Pouillet, nato a Cusance (Doubs), nel 1791, professore alla Scuola politecnica, direttore del Conservatorio d'Arti e Mestieri, professore di fisica alla Sorbona, membro dell'Accademia delle Scienze, morto a Parigi, il 13 giugno 1868.

(3) Altro metodo più semplice. Dirigete l'istrumento sopra un oggetto molto lontano e mettetelo colla massima esattezza al punto della vostra vista. Poi ponete dinanzi all'apertura dell'oculare un pezzo di carta vegetale o trasparente e cercate la posizione nella quale il disco luminoso formato su quella carta dall'apertura dell'oculare è assolutamente chiaro e spiccato. Misurate mediante un piccolo compasso o mediante un decimetro diviso in millimetri il diametro di quella imagine. Il diametro dell'obbiettivo diviso per quello di questa imagine dà l'ingrandimento cercato. Si può fare la medesima operazione per ogni oculare. Per ottenere una maggior precisione si incolla la carta vegetale all'estremità di un piccolo cilindro di cartone che si applica intorno all'oculare. L'imagine così immobilizzata è più facile da misurare (*L'Astronomia*, n.º 5, 1890.)

Per ottenere questo doppio intento, si studiò in tutti i tempi di costruire obbiettivi di grande distanza focale e di grande diametro.

Nel telescopio che Herschel (1) costruì dal 1785 al 1789 pel suo osservatorio di Slough, presso Windsor (Inghilterra), lo specchio aveva 12 metri di distanza focale e m. 1,47 di diametro. Il suo ingrandimento lineare raggiungeva 6000, ma in pratica non si potè utilmente oltrepassare il 2000.

In quello che lord Rosse (2) fece piantare a Birr, in Irlanda, nel parco del suo castello, lo specchio è ancora più grande. Ha m. 16,76 di distanza focale ed un diametro eguale a m. 1,83. Esso permette di scorgere con chiarezza sulla luna uno spazio di 70 a 80 metri. E la luna è a circa 384 mila chilometri da noi!

Gli specchi dei primi telescopii erano di bronzo contenente una parte di stagno per due di rame. La lavorazione ne era costosa e difficile,

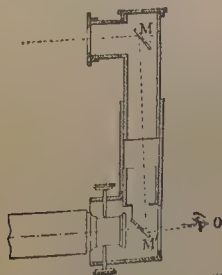



Fig. 154. — Camera chiara di Pouillet che serve alla misura dell'ingrandimento di un telescopio.

attesochè una massa di metallo ben omogenea non si ottiene senza grandi stenti. Oltre a ciò, essendo pesantissimi richiedevano per la loro manovra impalcature, alberi e corde solide e ingombranti come si può persuadersene osservando l'impianto del telescopio di Herschel sulla figura 155.

Lo specchio del telescopio di lord Rosse pesa esso solo 3800 chilogrammi ed il tubo cerchiato di ferro che lo porta ne pesa più di 6000.

Un grande progresso nella costruzione degli specchi obbiettivi fu portato nel 1857, da Leone Foucault (3).

(1) Guglielmo Herschel, astronomo, nato ad Hannover nel 1738, morto il 23 agosto 1822, prima professore di musica ed organista, si portò in Inghilterra nel 1757 e divenne maestro di cappella ad Halifax; essendosi provato a costruire un telescopio col quale potè vedere Saturno, prese gusto per l'astronomia e, nel 1781, fece la sua brillante scoperta del pianeta Urano; scoprì egli solo 2500 nebulose; gli si devono molte importantissime osservazioni. La sua opera principale è il *Catalogo delle stelle*, che compiè con sua sorella Carolina Herschel.

(2) Guglielmo Parsons, conte di Rosse, astronomo inglese (1800-1877). La costruzione del suo telescopio richiese parecchi anni di esperimenti e di lavoro e costò 300,000 franchi; lord Rosse se ne servì in principal modo per analizzare e descrivere le nebulose.

(3) Giovanni Bernardo Leone Foucault, fisico francese, nato a Parigi il 18 settembre 1819, morto il 13 febbraio 1868, autore di numerosi lavori di gran pregio, fra i quali giova citare gli esperimenti di paragone fra la luce elettrica e la luce solare; della trasformazione del movimento in calore; della determinazione della velocità della luce. La sua scoperta del movimento continuo di rotazione del piano d'oscillazione di un pendolo, che serve a dimostrare il

Egli ha sostituito ai pesanti specchi di bronzo specchi assai più leggieri che ottiene coprendo con un sottile strato d'argento la concavità di uno specchio sferico di vetro, ritoccato sugli orli in modo da farne uno specchio parabolico, vale a dire in guisa da sopprimere qualunque aberrazione di sfericità pel foco.

Il deposito d'argento è ottenuto con un metodo scoperto da Steinheil, di Monaco, o nuovamente trovato dall'inglese Drayton. Esso consiste nel ridurre il nitrato d'argento collo zucchero intervertito.

Questo metodo fu portato ad un tal grado di perfezione da Foucault

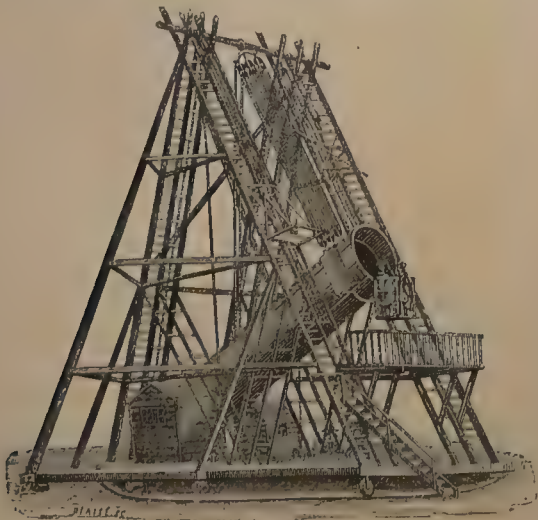



Fig. 175. — Il telescopio di Herschel

e Martin, che lo strato d'argento deposto sul vetro non modifica affatto la forma parabolica dello specchio di vetro.

Oltre di ciò un tale specchio presenta su quelli di bronzo il vantaggio di mandare maggior luce sull'oculare.

I telescopii a specchio si prestano male per collimare, perciò in oggi che si sanno fabbricare lenti grandi e buone, si preferiscono i telescopii a lenti, o cannocchiali astronomici, taluni dei quali hanno dimensioni colossali.

---

movimento terrestre e la rotazione del globo, fu una rivelazione pel pubblico che, nel 1851, accorse in folla a contemplare il gigantesco apparecchio che Leone Foucault aveva fatto sospendere al sommo della cupola del Panteon.

Il più grande strumento che mai si stato costrutto è il cannocchiale dell'osservatorio Lick del Monte Hamilton (California). Esso è rappresentato nel suo assieme dalla figura 159 e pel suo oculare dalla figura 156.

L'obbiettivo acromatico ha il diametro di circa un metro (0^m,912) ed una distanza focale di m. 17,20; l'imagine del sole appare grande m. 0,152.

La lente di flint dell'obbiettivo fu consegnata da Feil, di Parigi, nel-

Fig. 156. — Oculare del telescopio dell'osservatorio Lick del Monte Hamilton (California).

l'aprile 1882. In quanto alla lente di crown che fu mestieri ricominciare 19 volte, non venne fusa che nel settembre 1885.

Il cannocchiale porta tre *cercatori*, che sono cannocchiali più piccoli, ma di campo maggiore, e servono per riconoscere rapidamente il punto che si vuol sottoporre ad un esame più minuzioso.

La grande complessità dell'oculare proviene dal fatto che questo cannocchiale è montato per servire alle osservazioni ed alle misure infinitamente delicate e varie dell'astronomia contemporanea (1).

(1) Per maggiori particolari si consulti l'*Astronomia* (anno 8°) rivista che si pubblica sotto la direzione di Camillo Flammarion.

Ecco a qual punto è arrivata la scienza per ciò che concerne la visione a distanza.

Ecco che cosa ha ottenuto con isforzi che sono durati tre secoli (1590 al 1890) facendo appello ai soli spedienti dell'ottica.

Sono i telescopii che aprirono agli uomini l'immenso orizzonte del cielo e permisero agli astronomi di compilare con tanta precisione la carta dei mondi che vi gravitano o di penetrare i particolari della topografia della luna e dei pianeti (fig. 157).

Il telescopio di lord Rosse, per esempio, non produce forse il medesimo effetto di una forza sovrumana che portasse la Luna a sedici leghe circa dall'occhio nostro?

Ma fra il telescopio e la Luna non esistono ostacoli, mentre sulla Terra l'uso del telescopio è forzatamente circoscritto. In fatti la Terra non è guari un disco piatto e liscio. La luce non può propagarsi da un luogo all'altro, come negli spazii vuoti ed immensi del cielo; essa è arrestata da mille scabrosità naturali ed artificiali seminate sulla sua strada.

E nondimeno, qualche volta, mercè certi concorsi di circostanze, quegli ostacoli terrestri, quegli schermi giganteschi inalzati dalla natura, sono impotenti a sottrarre agli occhi nostri gli oggetti che d'ordinario ci nascondono.

Un fenomeno che secondo i casi si indica coi nomi di *miraggio*, rifrazione atmosferica, spostamento, sospensione, permette, per caso ed in condizioni affatto eccezionali, di vedere oggetti situati fuori della portata consueta della vista.

Ecco come Monge (1) descrive i *miraggi* di cui fu testimonio in Egitto nel corso della campagna 1798.

Dal momento che la superficie del suolo è sufficientemente scaldata dalla presenza del sole e sino a quello in cui verso sera principia a raffreddarsi, il terreno non sembra più avere la medesima estensione, e ad una lega circa pare terminato da una inondazione generale. I galleggianti situati al di là di quella distanza sembrano come tante isole situate in mezzo ad un gran lago, e dalle quali si sarebbe separati da una stesa d'acqua più o meno notevole. Sotto ciascuno di quei villaggi se ne vede l'imagine capovolta, tal quale la si vedrebbe effettivamente se vi fosse una superficie d'acqua riflettente; se non che, siccome quell'imagine è a grande distanza, i piccoli particolari sfuggono alla vista e solo le masse si vedono distintamente; d'altra parte i lembi dell'imagine capovolta sono un po' incerti e come lo sarebbero nel caso di un'acqua riflettente, se la superficie dell'acqua fosse un po' agitata.

Mano mano che si va accostandosi ad un villaggio che sembra emergere nell'inondazione, il margine dell'acqua apparente si allontana, il braccio di mare che sembrava separarci dal villaggio si restringe; sparisce alla fine intieramente, ed il fenomeno che cessa per quel villaggio si riproduce sull'istante per un villaggio che voi scoprite di dietro ad una distanza opportuna.

Così tutto concorre a completare una illusione che qualche volta è

(1) Monge, geometra francese (1746-1818), creatore della geometria descrittiva, uno dei fondatori della Scuola Politecnica.

crudele, in ispecial modo nel deserto, perchè essa vi presenta una fallace imagine dell'acqua nel momento che oppresso dalla sete ne sentite il massimo bisogno.

Monge ha dato una spiegazione del *miraggio* fondata sul fenomeno della rifrazione e della riflessione totale. Quella spiegazione non è perfetta, poichè stabilisce semplicemente una relazione di causa ad effetto.

A contatto del suolo ardente l'aria si scalda, divien più leggiera e

Fig. 157. — Circhi e crateri della Luna

per conseguenza si inalza nell'atmosfera; essa cede così il suo posto ad un nuovo strato d'aria che a sua volta si scalda e ben presto tien dietro al primo.

Ad un dato momento si può dunque considerare l'aria come distribuita in istrati tanto più caldi quanto più sono vicini al suolo.

Il potere rifrattore dell'aria va in questo caso diminuendo dall'alto in basso; per conseguenza un raggio luminoso tende ognor più a diventare orizzontale di mano in mano che si avvicina al suolo.

Quando fa colla verticale un angolo sufficientemente grande, si ri-

flette sullo strato d'aria corrispondente come lo farebbe sopra uno specchio, e risale per colpire alla fine l'occhio dello spettatore il quale, prolungando il raggio luminoso che gli arriva, vede un oggetto simmetrico a quello che manda la luce rispetto allo strato d'aria ove si è prodotta la riflessione.

Non si può dare una spiegazione generale.

Gli strati d'aria possono acquistare accidentalmente densità molto variabili e disporsi in tutti i modi possibili, laonde la rifrazione attraverso un tale sistema di strati produrrà un fenomeno la cui apparenza potrà essere straordinariamente svariata.

Spesso l'osservazione attenta delle condizioni nelle quali si produce il fenomeno ne farà comprendere la ragione generale.

Segnaliamo alcune singolari osservazioni:

Biot ed Arago, in Ispagna, mentre osservavano dalla montagna di Desierto de las Palmas (reame di Valenza) un segnale luminoso situato alla distanza di 161 chilometri ed a 420 metri d'altezza, sulla montagna di Campwey, nell'isola di Yviza, videro parecchie volte quella luce ac-

Fig. 138. — Principio della trasmissione di una imagine: Elettrofosforo.

compagnata da parecchie imagini situate sulla stessa verticale, imagini che si formavano e sparivano senza ordine determinato.

Nel domattina il mare era coperto di nebbie precipitate durante la notte ed indicanti che l'aria era stata molto umida nel tempo dell'apparizione delle imagini.

Nel 1851, Parès, trovandosi alle Aigues-Mortes, scorse una sera villaggi ed alberi al disopra delle dune, che ordinariamente li nascondono.

Il dottore Vince essendo a Ramsgate, a 21 metri sul livello del mare, vide, il 6 agosto 1806, alle sette pomeridiane, il castello di Douvres, e ben distintamente sino alla sua base, come se fosse stato trasportato sulle colline che ordinariamente lo nascondono quasi per intero.

Douvres è a 20 chilometri da Ramsgate ed un terzo di quella distanza, dalla parte di Ramsgate, è occupata dal mare. Il signor di Bréauté scorse un giorno da Dieppe le coste d'Inghilterra, benchè esse sieno nascoste dalla curvatura del mare.

I marinai furono per lungo tempo impensieriti dall'apparizione fantastica di un'isola, fra la costa d'Aland e la costa svedese, isola che spariva quando volevano avvicinarsele.

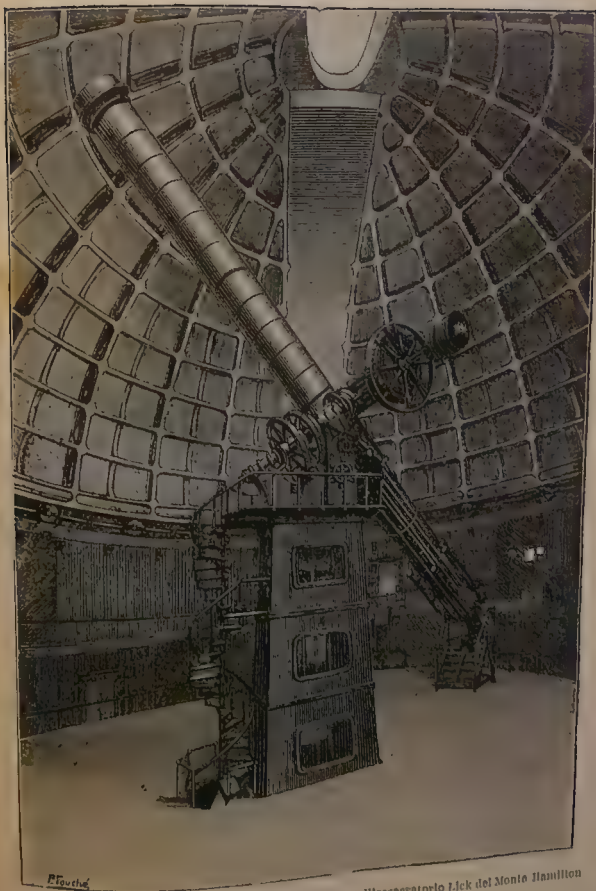



Fig. 150. — Il più grande telescopio del mondo, telescopio dell'osservatorio Lick del Monte Hamilton (California).

L'illusione era prodotta da uno scoglio situato a poca profondità e che sembrava sollevato sopra la superficie del mare dalla curvatura dei raggi luminosi nell'atmosfera.

Andraud vide, nel 1852, da una distanza di 40 chilometri, il campanile di Strasburgo illuminato un giorno di festa pubblica. L'imagine di una grandezza colossale sembrava essere a due chilometri, ed era nitida quanto bastava perchè si potessero distinguere i colori delle diverse parti della luminaria.

Le apparizioni di città aeree, di eserciti, ed anche di battaglie in mezzo all'aria, che si trovano descritte nei racconti del medio evo, si spiegano nella medesima guisa.

Eccone due esempii relativamente moderni.

J. A. Garnier, nel suo *Trattato di Meteorologia*, riferisce che il 20 settembre 1835, gli abitanti delle colline di Mandip, in Inghilterra, videro alle cinque pomeridiane corpi di cavalleria sfilare nell'aria in mezzo ad un cielo che sembrava coperto di densi vapori. Si distingueva perfettamente il cavaliere e il suo cavallo, ed anche l'andatura di questo.

Camillo Flammarion, dopo aver parlato di codesto sorprendente miraggio, scrive nel suo bel libro, l'*Atmosfera:* « Dietro la testimonianza di persone degne di fede, potrei aggiungere a questo fatto un'osservazione analoga che venne fatta a Verviers nel giugno 1815 (il mese e l'anno della battaglia di Waterloo). Tre abitanti di quella città videro distintamente una mattina, un esercito nel cielo, e con tale precisione che riconobbero le uniformi dell'artiglieria, e, fra gli altri oggetti, un pezzo da cannone al quale si era spezzata una ruota ed era prossimo a cadere... »

Ma siccome noi non siamo padroni di modificare a piacer nostro lo stato dell'atmosfera, ci incombe di cercare altrove i mezzi di scoprire gli oggetti che gli ostacoli nascondono ai nostri sguardi.

Come si potranno sopprimere, girare quegli ostacoli?

La misteriosa elettricità, quella fata benefica che già fece tanto per noi, non potrebbe essa con un colpo della sua magica verga far apparire ai nostri occhi i siti più lontani, le cose o gli uomini di altre latitudini nel tempo stesso che il telefono ci porta il loro linguaggio?

Forse sarà necessario che un altro Ampère od un altro Faraday le strappi il segreto; ma già, attraverso i dati attuali della scienza, si intravede chiaramente la possibilità di raggiungere un sì mirabile risultato con un telescopio elettrico, al quale, noi l'abbiam detto, si è dato il nome di *Telefoto*.

Il secolo venturo, se non il nostro, applaudirà certamente questa bellissima scoperta e manderà il nome dell'autore all'immortalità.

Col telefono e col telefoto, l'umanità non sarà più che una grande famiglia!

L'idea ardita del *telefoto* nacque nel cervello di un francese, come quella del fonografo e quella del telefono. Questo francese è il Senlecq, notajo ad Ardres (Passo di Calais) che lavorò per tradurla in fatto sino dai primi mesi del 1877.

Ma come può essere che l'idea del *telefoto* non sia altro che una chimera, che il sogno di una imaginazione malata?

Quali sono i fatti positivi, dimostrati, sui quali essa si basa?

Gli è quanto stiamo per dire.

Non passeremo in rassegna tutte le azioni che esercita la luce sull'elettricità o reciprocamente; noi ci occuperemo solo di quella che fu già menzionata e che ricorderemo.

Se un pezzo di selenio, ovvero una superficie spalmata di selenio opportunamente preparato, è intercalata nel circuito di una pila, qualsiasi variazione nell'illuminazione del selenio è accompagnata da una variazione della corrente elettrica che lo attraversa; in particolare, il campo magnetico dovuto a quella corrente varia. In ciò risiede la base del telefono a luce.

Quale relazione esiste fra questo fenomeno ed il problema della trasmissione di un'imagine?

Eccola:

Un imagine, qualunque sia il modo col quale la si produce, non è altro che l'aggregato di punti diversamente illuminati.

Se dunque si fa passare su tutta la superficie di un'imagine la piccola piastra sensibile di selenio, la corrente che la attraversa assumerà un valore variabile, il quale aumenterà quando il selenio attraverserà un punto più rischiarato dei punti vicini; diminuirà nel caso contrario.

In questa guisa, mercè la singolare proprietà del selenio, si otterrà un'imagine elettrica o magnetica — fotografia di una specie particolare — dell'imagine luminosa.

Ma come ripassare dall'imagine magnetica all'imagine luminosa?

Come si potrà riprodurre quell'imagine in un luogo qualunque ove passa il filo della linea *ff* (fig. 158)?

La è sopratutto questa seconda parte del problema che è delicata e difficile.

Tuttavia, se si conoscesse una sostanza che fosse dotata della proprietà di diventar luminosa sotto l'influenza della corrente che la attraverserebbe e di prendere istantaneamente splendori proporzionati all'intensità della corrente, nulla ci sarebbe di più semplice.

Si intercalerebbe questa sostanza *R* nel circuito al posto di ricevimento e la si animerebbe di un movimento eguale a quello del selenio che esplora l'imagine da trasmettere *A* (fig. 158).

In tali condizioni la sostanza *R*, che noi chiameremo per fissare le idee « Elettrofosforo » traccerebbe nello spazio, in *B*, l'imagine *A* che si tratterebbe di trasmettere e l'occhio la vedrebbe totalmente se il movimento dell'esploratore *S*, e per conseguenza di *R* che fa il medesimo tragitto, fosse rapido quanto basta perchè l'imagine di *A* fosse esplorata completamente in un tempo brevissimo, così breve che nessuna delle impressioni successive ricevute dalla retina avesse tempo di cancellarsi o di indebolirsi sensibilmente.

Si vedrebbe in *B* l'imagine di *A* nella medesima guisa che si vede la circonferenza luminosa che traccia nell'aria un carbone incandescente, fatto girare velocemente.

Infatti si comprende senza fatica che se il selenio *S* si troverà di faccia ad una regione illuminata *a*, la corrente darà in *R* uno splendore corrispondente; se *S* passerà dinanzi ad una regione meno rischiarata *b*, la corrente si indebolirà subito, e per conseguenza scemerà lo splendore dell'elettrofosforo *R*. Lo splendore di *R* segue esattamente

quello dei diversi punti dell'imagine *A*, occupando posizioni relative che sono precisamente le stesse di quelle dei punti dell'imagine *A*; questa sarà dunque bene riprodotta in *B*.

Se l'elettrofosforo godesse oltre a ciò della proprietà di assumere splendori del medesimo colore di quelli che ad essi corrispondono in *A*, il problema sarebbe intieramente risolto.

Ma l'elettrofosforo, questa pietra filosofale del telefoto, è ancora da trovarsi; i cercatori attuali furono obbligati a rivolgersi da un'altra parte.

Ayrton e Perry hanno inventato un ricevitore indiretto che essi han chiamato illuminatore (fig. 160) e del quale ecco qua la descrizione. Una lampada *L* illumina uno schermo *E*, nel quale è aperto un piccolo foro quadrato del quale una lente *G* projetta l'imagine sopra uno schermo *E*. Sul tubo *R* che porta la lente è avvolto un filo di rame rivestito di seta il quale riceve la corrente della linea *ff*. Quella corrente produce un campo magnetico e questo fa deviare l'ago calamitato *n s* di angoli che dipendono dai valori successivi che prende quel campo, vale

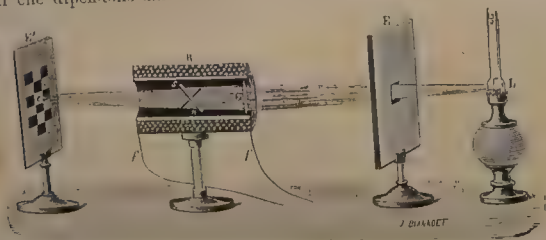



Fig. 160. — Illuminatore Ayrton e Perry che sostiene la parte dell'elettrofosforo.

a dire dell'imagine magnetica che risulta dall'esplorazione dell'imagine luminosa *A* per mezzo del selenio *S*. Ora, una piastrina annerita di alluminio, metallo leggierissimo, è solidale dell'ago calamitato: essa chiude, ottura completamente il tubo *R* quando nessuna corrente attraversa il filo che si avvolge su di esso, e la luce che viene dalla lampada *L* non passa affatto. Se la corrente si desta e varia, l'ago viene deviato più o meno secondo che la corrente aumenta o diminuisce. Dunque l'apertura del tubo *R* cresce o decresce colla corrente. Nel primo caso l'imagine *i* è più luminosa, nel secondo lo è meno. Se un opportuno meccanismo anima quell'imagine del medesimo movimento rapido che fu impresso al selenio esploratore, essa traccerà sullo schermo *E* l'imagine *A*, precisamente come lo farebbe l'ipotetico elettrofosforo.

Ciò per altro non si potrà ottenere a meno che l'illuminatore d'Ayrton e Perry sia molto sensibile e versi sullo schermo *E* quantità di luce proporzionali in ogni istante all'intensità che la corrente possiede in quel momento.

Queste sono due condizioni ben difficili da realizzare, perciò Ayrton e Perry non poterono riprodurre col loro metodo che un'imagine formata da linee alternativamente luminose ed oscure.

Nel giugno 1880, Sawyer propose di surrogare l'imagine *i* colla scintilla che darebbe un rocchetto di induzione; ed ecco come. Supponiamo che la corrente che percorre il filo della linea passi nel filo primario di un rocchetto di induzione. Sotto l'influenza delle variazioni di quella corrente fra le estremità molto avvicinate del filo secondario del rocchetto scoccheranno scintille. È quindi chiaro che lo splendore di quelle scintille andrà facendosi più vivo di mano in mano che il selenio passerà da un punto oscuro ad un altro più fortemente illuminato, poichè gli è allora che la variazione del campo induttore è la più intensa.

Impartendo al selenio *S*, ed alla scintilla ricevitrice il medesimo movimento rapido, come nei ricevitori precedenti, può darsi che si riesca ad osservare la riproduzione dell'imagine *A* esplorata da *S*? Non osiamo affermarlo perchè questo metodo ci sembra difettoso anche in teoria.

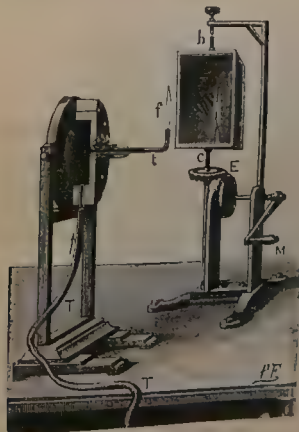



Fig. 161. — Capsula manometrica di Kœnig.

Per avere in *B* l'impressione dell'imagine *A*, non è guari necessario di riprodurre tutti i punti di quella, ma solo un certo numero di punti sufficientemente vicini, formanti per esempio delle linee fitte, pur rimanendo arbitraria la forma di quelle linee chiamate d'esplorazione.

Le ricerche precedenti sono dunque basate su tre fatti:

1.° La corrente elettrica che attraversa una piastra di selenio intercalato nel circuito di una pila varia col grado di illuminazione del selenio.

2.° L'occhio vede completamente un'imagine benchè diversi punti di quella gli arrivino successivamente, a condizione per altro che il ritardo nell'arrivo si limiti ad una piccola frazione di secondo.

3.° L'occhio ha la sensazione chiara di un'imagine, sebbene non riceva che una parte dei punti di quella. Gli basta, per esempio, di vedere tutti quelli che sono distribuiti sopra una serie di linee vicine, linee la cui forma è arbitraria e che si scelgono coll'intento di ottenere la massima perfezione del meccanismo.

Lazzaro Weiller, pure basandosi su quei fatti, propose di metterli in opera in una maniera veramente originale.

Se alla stazione ricevitrice si trova un telefono magnetico intercalato nel filo della linea, è chiaro che le variazioni della corrente della linea proveniente dal selenio faranno parlare il telefono, come fu precedentemente spiegato.

Il telefono dà un'imagine sonora dell'imagine luminosa. Ma come si

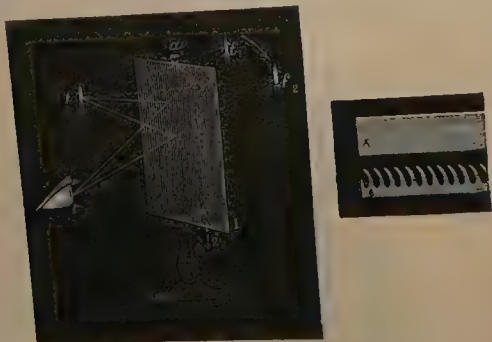



Fig. 162. — Effetto della rotazione di uno specchio piano.
A, striscia luminosa unita. — B, striscia dentellata.

farà per estrarre da quest'imagine sonora l'imagine luminosa corrispondente che le diede origine?

Per ben comprendere i mezzi proposti da Weiller, è necessario di conoscere alcuni fatti di ottica acustica ed in particolare ciò che concerne la capsula manometrica di Kœnig e la maniera di produrre le figure conosciute sotto il nome di figure di Lissajous (1) dal nome del fisico che le ottenne per il primo.

Nulla v'ha di più sensibile della capsula o fiamma manometrica inventata nel 1862 dal costruttore Kœnig ed il cui uso oggidì si è grandemente diffuso per gli studii sul suono. Codesto ottimo indicatore ottico delle vibrazioni sonore è rappresentato dalla figura 161.

Esso consiste in una piccola cassetta, il più sovente di forma circolare, una delle cui pareti *a* è formata da una membrana elastica.

In quella cassetta entra il gas illuminante condottovi da un tubo

(1) Lissajous, professore di fisica al liceo San Luigi dal 1848 al 1873, rettore dell'Accademia di Chambéry, poi dell'Accademia di Besançon, morto nel 1883.

di cauciù T e ne esce per un tubo strettissimo t all'estremità del quale f lo si accende.

Se la membrana a vibra, che cosa succederà?

Quando si avanzerà verso la destra, il gas sarà compresso e spinto nella fiamma f; succederà il contrario quando la membrana a ritornerà verso la sinistra.

Le variazioni periodiche di pressione del gas illuminante si tireranno dietro variazioni periodiche nella lunghezza e nello splendore della fiamma f.

L'occhio percepirà quelle scosse, ma, volendolo, è agevole di separare le vibrazioni della fiamma con un artificio analogo a quello che ci ha servito a separare le variazioni di uno stile vibrante a contatto con una superficie affumicata. Nel caso attuale alla superficie affumicata si sostituisce generalmente uno specchio verticale prismatico (fig. 161) cui si può far assumere un movimento di rotazione rapido intorno all'asse $b\ c$ per mezzo della manovella M e dell'ingranaggio E.

Per spiegare l'effetto dello specchio, prendiamo per maggiore semplicità uno specchio piano (fig. 162) sul quale un occhio indicato sulla figura, guarda l'imagine della fiamma f. Quello specchio può girare intorno ad un asse d.

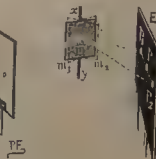
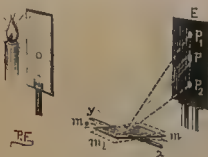



Fig. 163.
Effetto di uno specchio oscillante orizzontale.

Fig. 164.
Effetto di uno specchio oscillante verticale.

Quando lo specchio occupa la posizione 1 l'occhio vede l'imagine della fiamma f in f_1. Quando lo specchio ha girato ed è giunto nella posizione 2, l'occhio vede l'imagine della fiamma f in f_2. Se quell'imagine non vibra, l'occhio durante la rotazione dello specchio non vedrà già l'imagine della fiamma, ma una striscia luminosa A ben costante formata dalla successione delle imagini della fiamma stessa. Se, per converso, mentre lo specchio passava dalla posizione 1 alla posizione 2 la fiamma variò di lunghezza, su quella striscia luminosa B si scorgeranno denti molto spiccati. Se la fiamma ripassa periodicamente pei medesimi stati, la striscia sarà formata di porzioni identiche periodicamente riprodotte ad ogni vibrazione completa della membrana a.

Dopo ciò si capisce esser naturale che, se si vogliono manifestare otticamente le variazioni di un telefono, si deve studiar il modo di trasformarlo in una vera capsula manometrica, sostenendo il disco del telefono la parte della membrana a; e fu ciò che propose Weiller. La figura 168 rappresenta il telefono manometrico. Si vede in T il tubo pel quale arriva il gas illuminante, che alimenta la fiamma f. E in questo caso è il disco vibrante che fa l'ufficio della membrana a della

capsula. Le variazioni del disco provengono dalle variazioni di intensità della corrente che si producono nel corso dell'esplorazione, fatta col selenio, dell'imagine da trasmettersi. Il difficile sta nell'ottenere che lo splendore della fiamma f sia ad ogni istante proporzionale a quello del punto dell'imagine da trasmettere che è di facciata al selenio.

Il Weiller vuol dunque fare del telefono così modificato un riproduttore dell'imagine come è già riproduttore del suono.

Per mezzo di quale meccanismo?

Per comprenderlo spiegheremo rapidamente in che cosa consistono le figure del professore Lissajous.

Nel primo capitolo abbiamo spiegato come uno stiletto attaccato ad un corpo vibrante quale che sia, verga, diapason, corda, ecc., scrive la storia delle vibrazioni di quel corpo sopra una superficie spalmata di

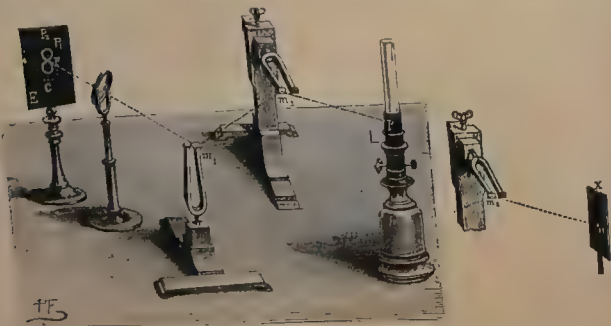



Fig 165. — Esperimento del diapason di Lissajous.

nerofumo. Lissajous sostituisce allo stiletto un raggio luminoso ancora più delicato e più sensibile.

Ecco il principio semplicissimo di questa elegante e preziosa sostituzione:

Un raggio di luce che cade sopra uno specchio piano m viene riflesso, e segna in P sopra uno schermo E che incontra sul suo cammino, un punto luminoso. Nella figura 163, lo specchio è supposto da prima orizzontale. Esso è assestato in guisa da poter girare intorno un asse orizzontale $x\ y$.

Se, girando intorno ad $x\ y$, lo specchio passa dalla posizione m alla posizione m_1 il raggio riflesso girerà esso pure e si vedrà il punto luminoso P andare sullo schermo da P a P_1 lungo una linea verticale $P\ P_1$.

Se lo specchio passa da m ad m_2, si vede lo stesso punto luminoso passare da P in P_2.

Ora se lo specchio oscilla rapidamente fra le posizioni m_1 ed m_2 l'occhio vedrà sullo schermo una piccola linea verticale luminosa $P_1\ P_2$ e ciò in virtù del fatto della persistenza delle impressioni luminose sulla retina.

Ripetendo le medesime spiegazioni sulla figura 164, nella quale lo

specchio m è mobile intorno ad una cerniera verticale $x\ y$, si riconosce che, quando lo specchio oscilla fra le posizioni m_1 ed m_2, l'occhio scorge sullo schermo una piccola linea orizzontale $P_1\ P_2$.

Si arguisce da ciò che se il raggio luminoso prima d'incontrare lo schermo viene riflesso da uno specchio come m (fig. 163) e da uno specchio come m (fig. 164), esso sarà ad un tempo spostato orizzontalmente e verticalmente. In conseguenza il punto luminoso P descriverà sullo schermo una curva luminosa la cui forma dipende ad un tempo dall'oscillazione dei due specchi.

A quelle curve fu dato il nome di *curve* o *figure* di *Lissajous*.

Fig. 166. — Curve luminose ottenute col metodo dei diapason vibranti di Lissajous

Studiamo ora un caso particolare: il solo che ci interessi per lo scopo che vogliamo raggiungere.

Fissiamo uno specchio m_1 (fig. 165) sopra un diapason che vibra in un piano verticale, ed uno specchio m_2 sopra un altro diapason che vibra in un piano orizzontale. Il raggio luminoso emanato da L, riflettendosi prima sullo specchio m_2 poscia sullo specchio m_1, si trova nelle condizioni da noi sopra indicate. Per conseguenza il punto P descriverà sullo schermo E la curva di Lissajous che corrisponde al movimento del sistema dei due diapason scelti.

La forma di quelle curve varia col rapporto dei periodi di vibrazione dei due diapason; essa varia pure (quando i diapason hanno il medesimo -

periodo) colla differenza di fase che essi presentano, vale a dire colla frazione del periodo che separa i due istanti nei quali i due diapason son stati messi in vibrazione.

Le figure 166 rappresentano talune fra le notevoli curve così ottenute e la cui varietà è infinita.

Sulle cinque figure di sinistra si scrisse il rapporto dei periodi; le forme che seguono corrispondono, per ciascuno di quei rapporti, a diversi valori della differenza di fase dei due diapason che le hanno date.

La prima è la più semplice, ed è una linea retta inclinata a 45°, tracciata dal punto luminoso P dello schermo quando i due diapason sono all'unisono, vale a dire hanno un medesimo periodo ed oltre di ciò anche una differenza di fase nulla, perchè fatti partire nel medesimo istante dalla loro posizione di equilibrio.

Prima di passare all'ultima forma di *telefoto* ci rimane da presentare una osservazione della massima importanza dal punto di vista del congegno meccanico che stiamo per scegliere, secondo Weiller, *per la trasmissione e la riproduzione delle imagini.*

Consideriamo (fig. 165) i due diapason precedenti in un dato momento: il punto luminoso è allora sullo schermo E in un punto P della curva che esso descrive e proviene dal raggio particolare $L\,m_2\,m_1\,P$. Invertiamo ora le parti: al posto della sorgente di luce L mettiamo un piccolo schermo X e portiamo la sorgente L nel punto P. Appena compita l'inversione noi vedremo dipingersi in O su quello schermo un punto luminoso e precisamente nel sito stesso nel quale poco prima si trovava la sorgente luminosa — la lampada — e ciò in virtù del principio del cammino reciproco della luce, che fu spiegato a pagina 147.

Avviene la stessa cosa qualunque sia l'istante in cui si fa l'esperimento, vale a dire qualunque sia il punto scelto sulla curva C.

Or dunque, se la curva C è mantenuta luminosa con un mezzo qualunque, noi vedremo, malgrado il movimento dei diapason, un punto luminoso fisso in O. Ma siccome quel punto proviene nei diversi istanti dai raggi luminosi usciti dai diversi punti della curva luminosa C, il suo splendore in un dato istante sarà proporzionale a quello del punto P che lo produce. E v'ha di più: se la superficie dello schermo E è tutta illuminata, saranno i soli punti situati sulla curva C che potranno dare un punto luminoso in O. Il sistema dei due diapason non fa dunque altra cosa che estrarre gli splendori o lampi dei punti della curva C per portarli tutti successivamente in O in un periodo assai breve.

Se per esempio due punti della curva P_1 e P_2 sono, il primo brillantissimo ed il secondo oscuro, il punto O brillerà di vivo splendore nel momento che sarà formato da raggi usciti da P_1 e, per converso, sarà appena luminoso quando sarà formato da raggi usciti da P_2. Si comprende come il sistema dei due specchi agitati dai diapason va a cercare successivamente la luce dei punti P_1 e P_2 per portarla nel medesimo punto O.

In luogo di una curva facciamo in modo che la linea che corrisponde al movimento del sistema dei due diapason, sia una retta, come nella prima figura di Lissajous. Chiamiamo quella retta L_1. Projettiamo sopra uno schermo, mediante un projettore T, l'imagine luminosa di una

persona: soltanto i punti luminosi di quell'imagine, disposti sulla linea retta L_1 avranno il loro splendore trasportato in O.

Se si assetta sopra un medesimo sostegno M il sistema dei due diapason vibranti, e se si imprime a quel sostegno un movimento di traslazione piccolissimo subito dopo che la linea L_1 sarà stata completamente esplorata, sarà un'altra linea vicina L_2, che a sua volta manderà in O successivamente lo splendore de' suoi punti.

Ad ogni singola posizione del sostegno corrisponde una linea di esplorazione. Imprimendo a quel sostegno un movimento conveniente, si potranno dunque trasportare al punto fisso O gli splendori di gran numero di punti appartenenti a tutte le regioni dell'imagine projettata sullo schermo E.

Ora, è precisamente nel punto O che viene disposto il selenio sensibile attraversato da una corrente; e noi sappiamo che la corrente varierà, che aumenterà quando lo splendore del punto dell'imagine che arriva sul selenio sarà più vivace, e che diminuirà nel caso contrario.

Dunque, se si ricevono quelle variazioni di corrente in un telefono, si avrà un'*imagine sonora* della nostra *imagine luminosa*.

Se quel telefono fu trasformato in una capsula manometrica, nel modo che fu precedentemente spiegato, la fiamma di quella capsula assumerà splendori che variano nel medesimo senso di quelli del punto O e per conseguenza, nel medesimo senso di quelli dell'imagine esplorata.

Rimane ora da disporre sullo schermo della stazione ricevitrice i diversi splendori della fiamma manometrica nella medesima posizione relativa che occupano sull'imagine da trasmettersi.

Si dovrà dunque avere un secondo sistema di diapason, identici ai precedenti, muniti di specchi e montati col telefono sopra un sostegno animato di un movimento in tutto e per tutto identico a quello della stazione mittente che dovrà fare la trasmissione.

Intanto che i diapason della stazione mittente esplorano i punti dell'imagine disposti sulla linea L_1 — linea che fa l'ufficio di sorgente luminosa — il punto luminoso formato dalla fiamma del telefono R, manda sui diapason della stazione ricevitrice un raggio di luce che traccia sullo schermo di quella stazione la medesima linea L'_1, la quale presenta in ciascuno de' suoi punti il medesimo splendore che presenta il punto corrispondente della linea L_1 della stazione mittente.

(La fiamma del telefono in questo caso compie il medesimo ufficio della sorgente luminosa L, la quale ci servì nella spiegazione delle curve di Lissajous.)

Quando la stazione mittente seguirà la linea L_2, la stazione ricevitrice traccerà sul suo schermo la linea corrispondente L'_2, e così dicasi per tutte le altre linee che verranno esplorate.

Così dunque, tutte le linee di esplorazione L_1, L_2, ecc., si troveranno trasportate coi loro relativi splendori sullo schermo della stazione ricevitrice in un numero bastantemente grande, ed in un tempo sufficientemente breve, perchè sia possibile di percepire *una forma nitida e completa dell'imagine che si trattava di trasmettere*.

Fu in questa maniera che si ottenne (fig. 168) la trasmissione dell'imagine di una persona projettata nella stazione trasmettitrice sopra uno schermo per mezzo di lenti e di un fascio di luce elettrica.

Se i due diapason fanno, per esempio, sedicimila vibrazioni in un minuto secondo, una linea come L_1 verrà esplorata in un tempo brevissimo, eguale alla sedicimillesima parte di un secondo, e siccome la imagine deve essere completamente esplorata in un lasso di tempo eguale ad un ottavo di secondo circa perchè l'occhio possa percepire la totalità dell'imagine, non vi saranno che duemila linee utili esplo-

Fig. 107. — Il telefoto. Stazione mittente del telefoto: spedizione di un' imagine.

rate. Quella rapidità di esecuzione è indispensabile perchè le impressioni luminose persistano sulla retina e si aggiungano quindi una all'altra.

Quelle duemila linee saranno già sufficienti per dare la somiglianza dell'imagine. Forse che un abile disegnatore non può fare un ritratto somigliante in pochi colpi di matita?

Ma se un numero maggiore di linee fosse necessario, si prenderanno diapason vibranti con rapidità più grande. È vero che allora le linee esplorate saranno molto corte, poichè i diapason che danno tali vibra-

zioni hanno movimenti di un'ampiezza estremamente piccola: diverrebbe quindi difficile esplorare un'imagine di grandi dimensioni. Ma per mezzo delle lenti si sa ridurre una data imagine alla grandezza che si vuole e che in ogni caso verrà stabilita alla stazione mittente, in riflesso allo scopo da raggiungere.

Alla stazione ricevitrice funzionerà un eguale sistema di lenti, ma in

Fig. 108. — Il telefoto. Stazione ricevitrice del telefoto: arrivo di un'imagine.

modo inverso, cioè ingrandirà la piccola imagine trasmessagli e le darà la sua vera grandezza.

Ed il problema sarà sciolto; la difficoltà superata; si vedrà come oggi si sente!

Il telefoto, tal quale lo abbiamo descritto e costruito giovandoci delle esperienze di Lissajous, della capsula manometrica di Kœnig, del selenio — ideato dal Senlecq — e del telefono a fiamma manometrica — ideato da Lazzaro Weiller — sembra dunque realmente uscito dal dominio dell'ipotesi.

La sua realizzazione, la sua creazione, è dessa prossima? Tutto ci induce a crederlo.

Il passaggio dalla teoria alla pratica non è più che questione di tempo, e di tempo assai breve, giacchè, se le nostre spiegazioni furono afferrate, si dovrà ammettere che il principio del *telefoto*, nell'ordine d'idee nel quale ci siam posti, oggidì è già scoperto.

Dunque fra breve tempo nulla impedirà la visione a distanza, a tutte le distanze, sulla superficie del nostro pianeta.

Nessun ostacolo — la sfericità della Terra meno che verun altro — si ergerà fra il nostro occhio e le persone che noi vogliamo vedere (1).

Non solo ci sarà dato conversare con viaggiatori amici, che si trovano agli antipodi, ma potremo altresì vederli.

I nostri occhi potranno osservare i loro gesti, l'espressione del loro volto, i movimenti delle loro labbra nel momento stesso in cui le parole uscite da quelle labbra risuoneranno al nostro orecchio.

Il giorno non lontano nel quale il *telefoto* sarà creato conterà un nuovo prodigio da aggiungere a quelli della conservazione e della trasmissione della parola. Mirabile invenzione che coronerà le benefiche conquiste del nostro secolo scientifico in una splendida apoteosi — apoteosi il cui splendore forse impallidirà ben presto, secondo la legge del progresso, dinanzi ai primi raggi della misteriosa aurora del secolo ventesimo!

Abbiamo verificato che l'orecchio, quantunque dotato di un'estrema sensibilità, non può udire i suoni troppo deboli. Tuttavia usando di un artifizio, è spesso possibile di rendere percettibile un suono che nelle circostanze ordinarie ci sfugge. Per esempio, se si scuote un diapason la cui coda od impugnatura è tenuta in mano, si sentirà il suono di quell'istrumento ad una certa distanza durante un tempo variabile, poi si farà silenzio.

Non bisogna per altro credere che da quel momento in poi il diapason sia in riposo, immobile. Infatti ove se ne appoggi il manico sopra un'assicella, un tavolo, o meglio ancora sopra una cassa di legno piena d'aria e di un volume appropriato, si sente il diapason risuonare di bel nuovo.

Da che cosa ciò proviene? Da questo, che le vibrazioni del diapason scuotono le molecole dell'assicella, del tavolo o della cassa, e quelle

---

(1) Perciò è interessante prender nota dell'opinione di Edison sulla questione del *Telefoto*, opinione espressa il 15 agosto 1889 dinanzi ad un redattore del *New-York Herald*.

Il giornalista americano domandava al suo compatriota se fosse vero che egli aveva inventato una macchina mercè la quale un uomo, a Nuova York, poteva vedere ciò che faceva sua moglie a Parigi.

« Non saprei dire, rispose Edison, se questo sarebbe un beneficio reale per l'umanità. Ma, scherzi a parte, io lavoro intorno ad un'invenzione che permetterebbe ad un uomo abitante in Wall Street, non solo di telefonare ad un amico abitante al Central Park (all'estremo opposto della città), ma altresì di vedere quell'amico mentre conversa telefonicamente con lui. Questa invenzione sarebbe utile e pratica, e non vedo il perchè non debba diventare ben presto un fatto reale, ed una delle prime cose che farò, ritornato che io sia in America, sarà di impiantare questo apparecchio fra il mio laboratorio e la mia officina dei telefoni. D'altra parte, ho già ottenuto risultati soddisfacenti riproducendo imagini a quella distanza la quale misura solo circa mille piedi. *È ridicolo il pensiero di poter vedere qualcuno fra Nuova York e Parigi; la sfericità della terra, se anche non ci fossero altre difficoltà, rende la cosa impossibile.* »

uniscono i loro sforzi per agitare l'aria e con questo mezzo impressionano l'orecchio.

Ma ogni medaglia ha il suo rovescio. Il diapason per farsi sentire deve far vibrare il suo sostegno, ed in ciò consuma prestissimo la riserva di movimento che possedeva e che sarebbe stata sufficiente a mantenerlo in vibrazione durante un tempo relativamente lungo se si fosse continuato a tenerlo in mano.

Gli è per una ragione analoga che una mosca passeggiando sulla piccola assicella del microfono Hughes fa sentire il fracasso de' suoi passi e persino il suo grido di morte nel telefono ricevitore.

Grazie al microfono il nostro orecchio può percepire una infinità di suoni estremamente deboli ed udire la voce di migliaja di esseri che senza di esso noi avremmo sempre creduto muti.

Ora il dominio dell'occhio è circoscritto come quello dell'orecchio.

Noi abbiamo già appreso come il telescopio aumenti la portata dell'occhio permettendogli di esaminare gli oggetti lontani che spesso la lontananza ci nasconde e come l'invenzione del *telefoto* verrà a sopprimere definitivamente la distanza, sempre, per altro, per ciò che concerne le comunicazioni, le osservazioni terrestri.

Ma poichè esistono suoni troppo deboli perchè noi possiamo udirli direttamente, non potrebbero esistere altresì vicinissimi a noi oggetti che noi non percepiamo appunto in ragione della loro estrema piccolezza?

Non sarebbe possibile, dato che esistano, di vederli combinando delle lenti in guisa che offrissero all'occhio un'imagine dell'oggetto assai più grande che non sia l'oggetto?

Una tale combinazione non è difficile da trovarsi.

Prendiamo semplicemente una lente convergente L (fig. 169) i cui fochi principali sono F_1 ed F_2 e supponiamo che l'oggetto $A B$ che si guarda sia collocato fra il foco F_1 e la lente.

Dove si formerà l'imagine e quale ne sarà la grandezza? Per saperlo basta tracciare il raggio $A C$ che, partito da A, passa pel centro ottico della lente L ed il raggio $A D$ che cade sulla lente parallelamente al suo asse $F_1 F_2$ e che nell'uscire prenderà la direzione $D F_2$, poichè deve passare pel foco principale F_2. I prolungamenti dei raggi $A C$ e $D F_2$ si tagliano in A'. L'imagine di A si formerà quindi in A' e quella dell'oggetto in $A' B$.

L'imagine $A' B'$ è virtuale, diritta e di dimensioni più grandi dell'oggetto stesso $A B$.

Un tale apparecchio vien chiamato microscopio (1), poichè fa vedere gli oggetti piccoli più grandi di quello che sono realmente. Se l'imagine ha una lunghezza mille volte maggiore di quella dell'oggetto, si dice che l'ingrandimento della lente L è di mille diametri.

Un microscopio formato da una sola lente è chiamato dai francesi *loupe;* noi lo diciamo semplicemente lente, o meglio oculare di Keplero.

La lente di ingrandimento era nota anche agli antichi.

Seneca, filosofo latino, dice che attraverso una palla di vetro piena d'acqua si vedono le lettere di uno scritto più grandi e più distinte che ad occhio nudo.

---

(1) Microscopio, dal greco μικρος (micros) *piccolo*, e σκοπειν (scopeo) esamino.

Ed il greco Aristofane, 400 anni prima dell'era volgare, nella sua commedia le *Nuvole*, non parla forse di vetri che ingrandiscono?

Nel secolo XVII quel microscopio unilenticolare veniva chiamato il « cannocchiale da pulci. » Cartesio che col suo genio antivedeva i servigi che un giorno avrebbe reso quel « cannocchiale da pulci » scriveva nel 1637:

« Si potranno per mezzo suo vedere i varii miscugli e l'assetto delle piccole particelle delle quali gli animali e le piante, e fors'anco gli altri corpi che ci circondano, sono composti, e trarre da ciò molti vantaggi per arrivar a conoscere la loro natura. »

Huygens, avendo fabbricato delle piccole lenti, le interponeva fra il suo occhio e due pezzi di talco abbraccianti l'oggetto da esaminare: « Una gocciolina d'acqua, egli dice, presa da un bicchiere nel quale si sarà lasciato in infusione del pepe per due o tre giorni, chiusa come si è detto, appare come uno stagno nel quale si vede nuotare una infinità di piccoli pesci » (fig. 170). E Zahn, di Norimberga, alla fine

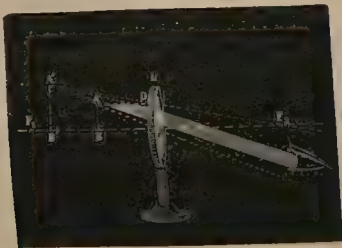



Fig. 169. — Lente di ingrandimento.

del XVII secolo, si sentiva compreso da stupore al medesimo spettacolo: « se si mette fra due vetri un po' d'acqua che contiene parecchi vermiciattoli vivi, si vedono, non senza emozione e vivo piacere, serpenti maravigliosi che strisciano » (fig. 170).

Ricordiamo che col telescopio non si trattava già d'ottenere una imagine dell'oggetto più grande di esso, ma solo più grande di quella che si vede quando si guarda l'oggetto ad occhio nudo.

Più convesse sono le faccie di una lente e più essa è potente; ma allora le imagini che essa dà sono confuse, e se si vuole evitare tale inconveniente fa mestieri usufruire soltanto la porzione centrale della lente stessa.

I naturalisti usano molto una lente microscopica ottenuta prendendo una porzione di sfera di vetro tagliata, segata in parte secondo un asse diametrale e da una parte dall'altra del centro. Questa è la lente di Brewster detta anche lente di Coddington.

È possibile di ottenere un ingrandimento assai più notevole di quello che può dare la lente ricorrendo a quello strumento che si chiama *microscopio composto* e che noi abbiamo detto essere stato inventato nell'epoca medesima del telescopio (1590) da Zaccaria Jansen di Middel-

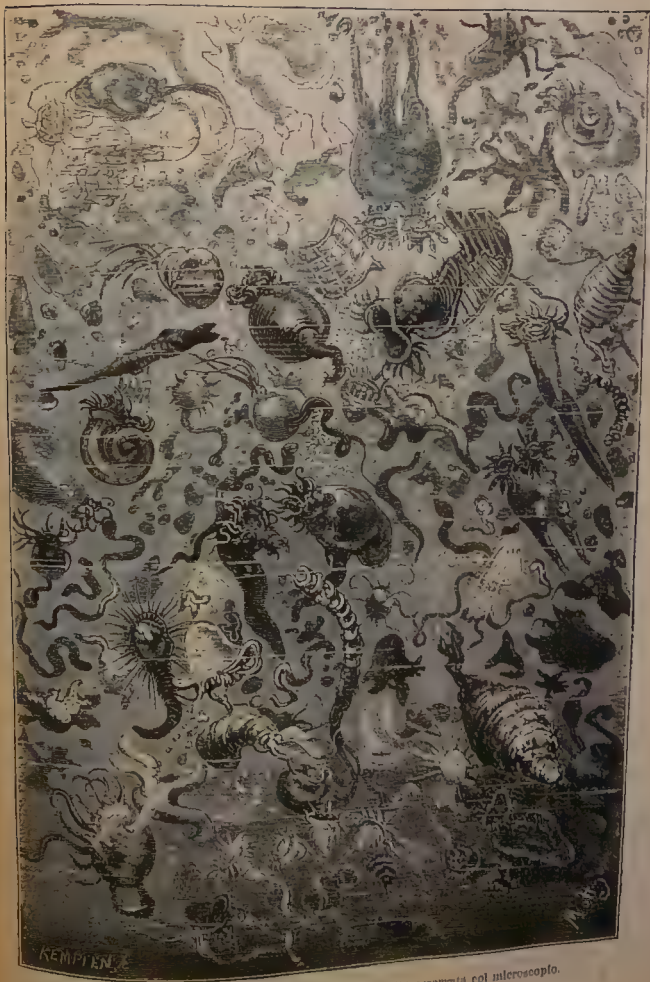



Fig. 170. — Popolazione di una goccia d'acqua corrotta osservata col microscopio.

burgo. Venne diffuso in Francia; in Inghilterra ed in Italia da Cornelio Drebbel (o Drebel, secondo Pietro Borel).

Esso, come principio, consta di due lenti convergenti L ed L' (fig. 171) che si indicano coi nomi di obbiettivo e di oculare, come nel telescopio e per le stesse ragioni (1).

L'oggetto $A B$ viene collocato al di là del foco F_1, ma l'obbiettivo L ne dà presso quel foco una imagine $A' B'$ reale capovolta e più grande dell'oggetto $A B$.

Quell'imagine si guarda attraverso la lente L' che funziona come lente di ingrandimento, vale a dire in guisa che l'imagine $A' B'$ si formi tra il foco F' e la lente L'.

Questa dà allora in $A'' B''$ un'imagine ingrandita e virtuale di $A' B'$.

Per tal modo nel microscopio composto le due lenti L ed L' sommano in qualche modo il loro ingrandimento, quindi si comprende

Fig. 171. — Cammino percorso dai raggi nel microscopio composto.

come esso abbia maggior forza di un microscopio semplice il quale è costituito da una lente sola.

La figura 174 rappresenta la sezione di un microscopio composto nella sua costituzione attuale.

L'obbiettivo O è formato da un sistema di tre lenti separatamente acromatizzate. $D D$ è un diaframma il quale non lascia passare che i raggi che non sono troppo inclinati sull'obbiettivo.

L'oculare $C C$ è un oculare a due lenti, quello di Huygens che abbiamo anteriormente descritto. Questo oculare, come pure un diaframma $d d$, sono portati da un tubo infilato nel tubo T del microscopio.

L'oggetto da studiare viene messo sopra una piattaforma M ed illuminato dal disotto mediante uno specchio m, se è trasparente, e dal disopra per mezzo di lenti se è opaco.

La figura 172 rappresenta il medesimo apparecchio montato e coi suoi organi accessorii. È il grande modello di Nachet. Spesso il microscopio è binoculare, vale a dire che c'è un tubo per ogni occhio (fig. 173).

Come si può misurare l'ingrandimento di un oggetto veduto col microscopio ed anche disegnare l'oggetto osservato?

(1) Nel telescopio l'obbiettivo ha una grande dimensione e l'oculare una piccola, nel microscopio si verifica il contrario.

Per tale scopo si fa uso di un pezzo di vetro che abbia la forma rappresentata dalla figura 174 ed alla quale è attaccato in a un pic-

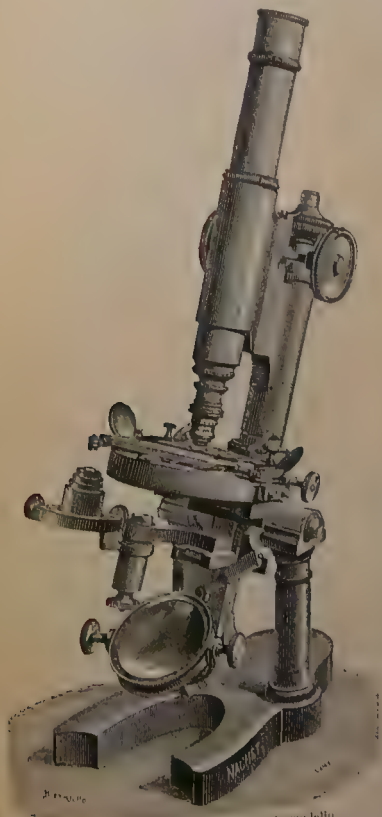



Fig. 172. — Microscopio Nachet grande modello

ciol prisma puro di vetro. Supponiamo che l'occhio situato in O guardi attraverso il sistema; esso vedrà il punto P in P'. Infatti un raggio, come sarebbe $P\,p$, si riflette sulla faccia $A\,B$ del vetro e viene in r

ove si riflette di nuovo per portarsi in fine nell'occhio O, e questo, che vede sempre nella direzione nella quale gli arriva la luce, riporta il punto P in P'.

Lo stesso avverrà per tutti gli altri punti dell'oggetto M, e questo, che noi supponiamo essere per esempio un micrometro, vale a dire una laminetta sulla quale vennero tracciate divisioni molto vicine ed equidistanti, sarà dunque veduto in M' colla sua vera grandezza. A codesto sistema che fa il medesimo ufficio della camera di Pouillet, fu dato il nome di *camera chiara.*

Se si tiene in mano una matita e si appoggia la punta in P, l'occhio O vedrà la mano e la matita posata in P'.

Con questa camera chiara sarà facilissimo tracciare sopra un foglio

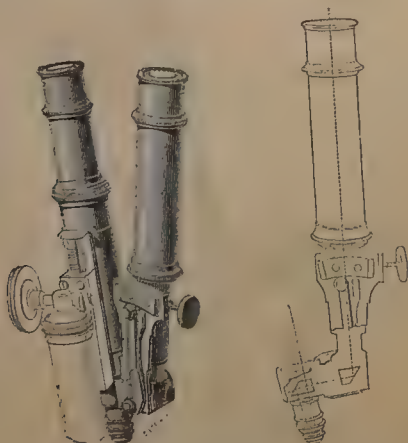



Fig. 173. — Apparecchio binoculare Nachet. — Sezione interna.

di carta il disegno dell'oggetto esaminato al microscopio. Quell'oggetto è in E ed il foglio sul quale si vuol disegnare è in F.

L'occhio vedendo quel foglio, e così pure la mano e la matita, potrà senza difficoltà seguire i contorni dell'imagine dell'oggetto che vede egualmente sul foglio di carta. In questa maniera il disegno sarà tracciato sulla carta F.

Ed ora, il disegno ottenuto quante volte sarà più grande in diametro dell'oggetto proposto?

Per saperlo osserviamo prima col microscopio un micrometro obbiettivo, lamina di vetro sulla quale lo spazio o lunghezza di un millimetro è divisa in cento parti eguali.

Il microscopio mostra quelle divisioni molto ingrandite.

Se per mezzo della camera chiara si sovrappone al micrometro ob-

biettivo così ingrandito, l'imagine di un altro micrometro portante divisioni eguali ad un millimetro, si vedrà quanti millimetri ricopra un centesimo di millimetro ingrandito dal microscopio. Supponiamo che ne copra due.

In questo caso si potrà dire che l'ingrandimento del microscopio impiegato è eguale a 200 diametri poichè un centesimo di millimetro veduto attraverso il microscopio assume una lunghezza di due millimetri che è 200 volte più grande.

Se ora si sostituisce al micrometro l'oggetto esaminato ed il diametro di esso va pur esso a coprire due millimetri del micrometro *M*, vuol

Fig. 174. — Ingrandimento e copia di un oggetto veduto col microscopio.

dire che quell'oggetto ha una lunghezza reale di due centesimi di millimetro.

Fu in questa guisa che si poterono misurare le dimensioni dei piccoli esseri o degli oggetti piccolissimi e valutare l'ingrandimento sotto il quale i disegni li rappresentano (fig. 170 e 175).

Così dunque, nel modo stesso che la scienza è pervenuta a rimediare alla imperfezione relativa del senso dell'udito, a dare all'orecchio la virtù che gli mancava e che l'accrescimento dei nostri bisogni rendeva indispensabile, a fargli sentire la parola a tutte le distanze per grandi che sieno, ed a fargli percepire gli infimi suoni nel modo stesso, ripetiamo, essa è pervenuta lentamente ma sicuramente a dare al senso della vista un potere al giorno d'oggi già notevole.

Col telescopio essa ha mostrato lo splendore, l'immensità dell'Universo, la moltiplicità dei mondi: essa ha persin permesso di misurare

Fig. 175. — Osservazione microscopica.
Microbi di diverse malattie contagiose veduti al microscopio in una goccia d'acqua.
1. Microbi della tubercolosi. — 2. Microbi della difterite. — 3. Microbi del vaccino.
4. Microbi del carbonchio. — 5. Microbi dell'influenza. — 6. Microbi del cholera.

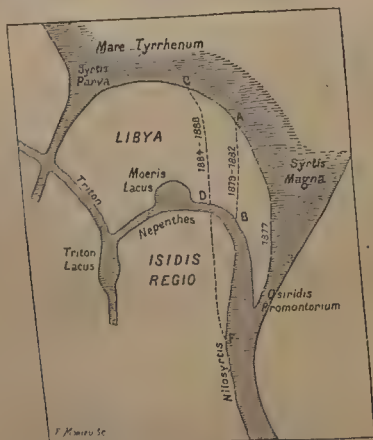



Fig. 176. — Osservazione telescopica.
Carta delle variazioni del mare *du Sablier* dal 1877 al 1888 nel pianeta Marte (1).
Distanza minima dalla Terra: 56 milioni di chilometri.

quei mondi, di descriverli, di compilarne le carte topografiche (fig. 176). Essa ha quasi reso visibile l'infinito.

(1) *L'Astronomia* (n. 8, 1889).

Col microscopio essa ha rivelato l'esistenza di esseri innumerevoli dei quali la mente umana non poteva nemmeno sospettare l'esistenza. Essa fece vedere, contare, classificare gli infinitamente piccoli, quel mondo degli impercettibili sì deboli in apparenza e forse, secondo i nostri moderni micrografi, in realtà sì formidabili!

Finalmente col telefoto essa ci permetterà di vedere in capo al mondo, in quale che sia regione terrestre, sciogliendo così il più straordinario dei problemi.

Quale sarà poi il desiderio degli uomini? Quando potranno parlarsi, vedersi, senza niun ostacolo, su tutta la superficie della terra, essi troveranno questa povera terra ancor più piccola di quello che è, si sentiranno a disagio, isolati, e si metteranno a cercare... Che mai? Probabilmente il mezzo di comunicare con un altro pianeta. E quando questo mezzo sarà trovato... che altro chiederanno? Qualche cosa che noi non possiamo e non sappiamo imaginare. Ma se qualche cataclisma non viene ad annientare i paesi inciviliti ove regnerà la scienza, dinanzi all'uomo di quei tempi si ergerà una nuova meta che egli si studierà di raggiungere e che raggiungerà!

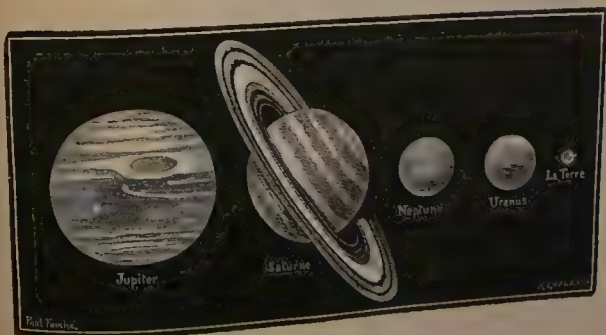
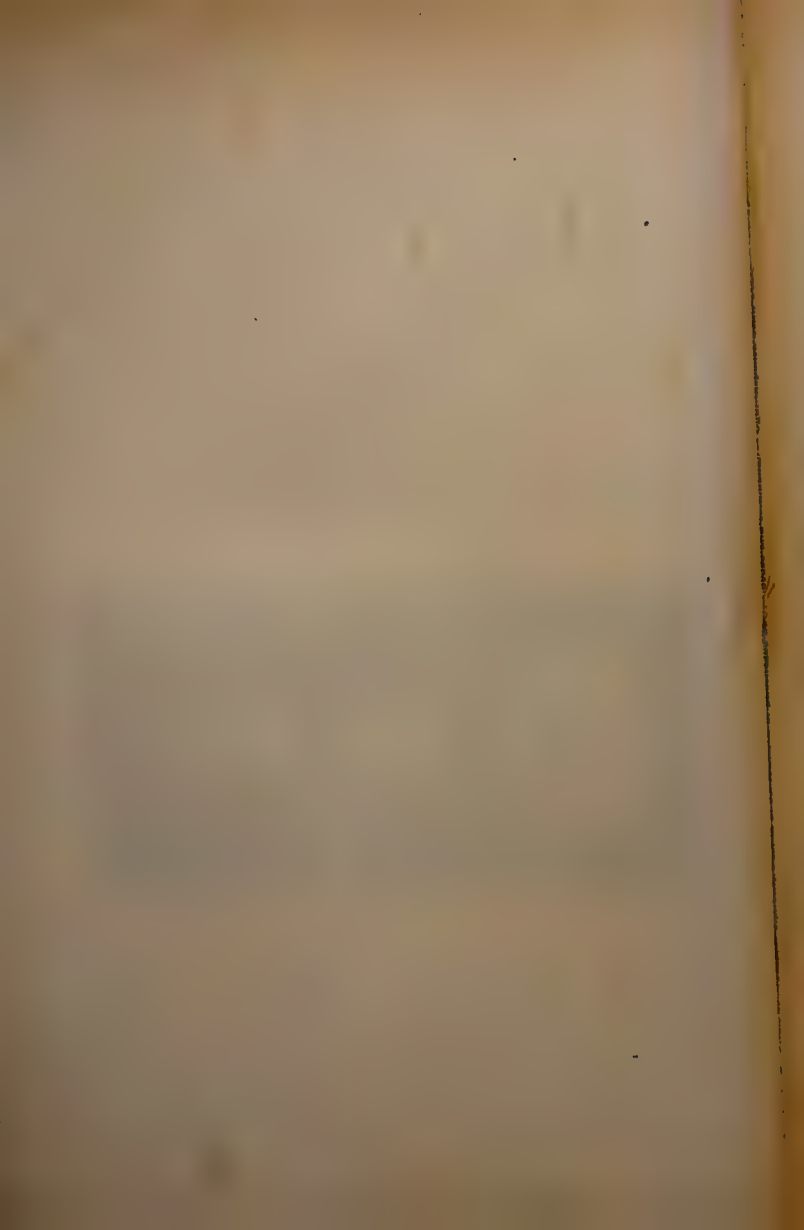



Fig. 178. — Energia meccanica: arco teso.
(Arciere asiatico e Amazzone dinomaca, marmi d'Egina.)

LIBRO SECONDO

L'ENERGIA ELETTRICA

CAPITOLO PRIMO.

L'ENERGIA.

I meccanici, i maestri della scienza della meccanica (1) hanno dichiarato la *materia inerte;* le hanno ricusato la *volontà*, vale a dire la facoltà di modificare da sè medesima lo stato nel quale essa si trova ad ogni istante.

Se dunque i *corpi* o *sistemi materiali* (2) disseminati in seno allo spazio, esistessero soli, l'universo, immobile e rigido, non sarebbe che un immenso cadavere.

Ciò che imparte il moto, la vita, all'universo, l'agente misterioso che rende la materia attiva, ha ricevuto il nome di *energia* (3).

Per la fisica moderna, due individualità — attualmente considerate come distinte — la *materia* e l'*energia* si dividono l'impero del mondo. Ed è l'*energia* che comanda; nulla si fa senza di lei; nulla si compie senza un suo ordine.

(1) *Meccanica*, dal greco μηχανη mechane macchina.
(2) *Sistema*, dal greco συστημα (systema) adunanza, *sistema materiale* adunanza raccolta di materia.
(3) *Energia*, dal greco ενεργεια (energeia) attività; la parola è formata da εν εργον (en ergon) in lavoro, od anche dentro lavoro.

Ne' suoi atti, nel suo temperamento, essa dimostra una grande varietà.

Talora si comporta con prudenza, con dolcezza, animando con mezzi squisitamente delicati i fragili organi degli apparecchi più piccoli (abbiamo veduti precedentemente molti esempii). Talora, per converso, come invasata da una collera pazza, sconvolge l'atmosfera, fa traballare la terra ed il mare, e produce cataclismi spaventosi, mostrando così la sua onnipotenza.

L'umanità stupefatta, atterrita, dalle grandiose manifestazioni della energia ne fece altrettante divinità e creò un Giove che scagliava le folgori, un Eolo che scatenava i venti, un Nettuno che metteva i flutti in furore.

La quantità di *energia* accumulata, nascosta in ogni sistema, organizzato o no, è infinitamente variabile. Che cosa è mai l'energia di un acaro, del più piccolo fra gli animaluncoli visibili ad occhio nudo, a petto dell'energia del leone, dell'elefante, della balena? E l'energia di quei fortissimi animali che cosa è mai al confronto dell'enorme energia che si manifesta nelle tempeste, nelle eruzioni vulcaniche, nei terremoti? E dire che questa energia è un nulla, se la si paragona all'energia che trasporta la terra e tutti gli astri nella loro corsa eterna!

Il concetto dell'*energia* non è nè più astratto, nè più fantastico di quello della *materia*. L'esistenza dell'una e dell'altra è affermata da un medesimo titolo: la loro indistruttibilità. L'illustre chimico Lavoisier disse un giorno, in una inspirazione di genio, che « nella natura nulla si perde e nulla si crea » e in seguito le numerose misure della chimica non poterono che confermare la verità di quel principio semplice e profondo, scritto in tutte le storte. Infatti l'esperienza dimostra che noi non possiamo nè produrre, nè distruggere la più piccola quantità di *materia*.

Le misure della scienza fisica provano che lo stesso avviene per l'*energia*.

Come la *materia*, anche l'energia può mutare aspetto, passare da un sistema ad un altro sistema, ma ciò che sembra sparire da qualche parte si trova sempre altrove.

Annientare o creare una particella d'*energia* od una particella di materia è cosa impossibile.

Conservazione della materia e conservazione dell'energia, ecco la duplice fiaccola che illumina le indagini e le considerazioni della fisica moderna.

L'uomo pei suoi bisogni studiò, tentò di servirsi dell'energia che esiste intorno a lui. Egli volle aumentare l'energia che gli è propria, prendendo a prestito una quantità di energia dai diversi sistemi della natura.

Ma come impadronirsi di quella energia? Come immagazzinarla? Come condurla? Come ammaestrarla a tutti i lavori che noi vogliamo esigere da essa?

Esaminiamo prima di tutto — e possiam fare questo esame con un certo orgoglio — l'estensione della nostra odierna potenza.

Guardiamo la *Città modello* rappresentata dalla figura 182.

Una cascata d'acqua, lontana dalla città, batte cadendo sulle palette di varie grandi ruote ed imprime a quelle ruote un movimento di ro-

tazione. Il movimento si trasmette a macchine di induzione, piantate sotto un portico, a destra delle ruote. L'energia del movimento dell'acqua è così trasformato in energia elettrica: questa viaggia lungo una rete di fili aerei e sotterranei e si reca ai diversi posti ove sarà usufruita.

Una parte di quell'energia elettrica è trasformata in luce, che illumina la città; un'altra parte è trasformata in calore, ed è usufruita nelle officine metallurgiche (ghisa, ferro, alluminio); un'altra va al telegrafo ed al telefono, un'altra mette in azione un laboratorio di galvanoplastica, le macchine-utensili di laboratorii di costruzioni meccaniche, i vagoni delle strade ferrate, delle tramvie, una macchina da battere il grano, ecc., ecc. (1). Questa energia si presta a tutte le applicazioni possibili.

Come lo si vede, il potere dell'uomo è diventato stragrande; per lungo tempo dovette starsi pago alla energia sua propria, od all'energia di alcuni animali addomesticati, ma, grazie agli sforzi della sua intelligenza, esso sa ora rapire ai diversi sistemi della natura l'energia che gli manca e sa adoperarla a seconda de' suoi bisogni.

Ma che cosa è mai codesta energia?

Nello stato attuale delle nostre cognizioni — e ciò deve singolarmente attenuare il sentimento d'orgoglio che mostravamo poc'anzi non è possibile di definire la natura intima dell'*energia* più di quello che si possa definire la natura della *materia*.

Le apparenze o le forme svariate sotto le quali la materia e l'energia impressionano i nostri sensi sono le sole che sieno accessibili all'osservazione. Noi vediamo, noi analizziamo i travestimenti del mago, ma lui, il mago, ci sfugge ancora.

Tutti i fenomeni (2) *hanno per sede la materia e per causa uno spostamento od una trasformazione della energia.*

Essi furono aggruppati dal punto di vista delle impressioni che esercitano sui nostri sensi: si distinguono i fenomeni meccanici, elettrici, calorifici e luminosi. Per un'estensione molto naturale si diede la medesima qualifica all'energia corrispondente, perciò si parla correntemente oggidì di energia meccanica, elettrica, calorifica, luminosa.

Lo studio di codeste diverse forme di energia in sè stesse e nei loro rapporti le une le altre forma l'oggetto della fisica.

Precisiamo ora che cosa si intende per ENERGIA MECCANICA.

Ecco qua un arco (fig. 178) la cui corda è mantenuta tesa; nessun movimento si manifesta, ma vi è nell'arco, nel sistema, qualche cosa che non domanda che di agire e che agirà appena che la corda non sarà più trattenuta. Allora la freccia viene immediatamente projettata, lanciata in lontananza, e, nel medesimo tempo, la corda ripiglia il suo stato normale.

Un tale fatto si esprime dicendo che l'arco teso, sebbene immobile, contiene energia meccanica nascosta agli occhi nostri.

(1) « La città elettrica » tale è il nome imposto alla città di Scranton, presso Filadelfia, che conta 90,000 abitanti e ha soltanto ventidue anni di esistenza. Non solo le sue vie sono illuminate a luce elettrica, non soltanto quasi la totalità delle sue macchine opera in virtù dell'elettricità, ma anche tutte le vetture pubbliche sono poste in movimento da elettro-motori.

(2) *Fenomeno*, dal greco φαίνω (faino) far vedere; cosa che si presenta, che appare.

Questa forma di energia si chiama *energia potenziale* (1); vale a dire energia in riserva, *dormente*.

Una molla compressa possiede essa pure *energia potenziale*, poichè espandendosi è capace di sollevare un corpo posato su di essa.

Lo stesso deve dirsi di un sistema formato dalla Terra e da un corpo immobile ed elevato, sospeso per esempio ad un filo; in fatti basta tagliare il filo per vedere quel corpo spostarsi subito e dirigersi verso il suolo.

Ecco alcuni esempii che mostrano come una *energia potenziale, nascosta, latente* — il vocabolo non altera per nulla la cosa — si consuma, scompare, comunicando movimento alla *materia*.

Notiamo che l'*energia potenziale* dei sistemi precedenti dipende dalla loro forma, dalla loro configurazione, dalla loro posizione; perciò più compressa è la molla, più teso è l'arco, più il corpo sospeso è lontano dal suolo, e più grande è la loro energia potenziale; per questo motivo spesso all'energia potenziale si dà il nome di *energia di posizione*.

Un corpo in movimento è pure una sorgente di energia, poichè esso può mettere in movimento altri corpi quando li incontra. Una palla da bigliardo che ne urta un'altra, la sposta mentre essa visibilmente in parte si arresta.

L'energia che possiede un corpo pel fatto solo che si muove ha ricevuto il nome di *energia cinetica* (2) o di *energia attuale* (3) od anche di forza viva.

Noi possiamo dunque attingere indifferentemente il moto così nell'*energia potenziale* di un sistema come nella sua *energia attuale*. La somma di quelle due forme di energia costituisce l'*energia meccanica* totale del sistema.

Le due energie, l'*energia potenziale* e l'*energia attuale*, sono esse realmente distinte?

Maurizio Lévy (4) opina che « dato lo stato attuale della scienza, sarebbe temerità lo studiarsi di troncare una tale questione. Forse spunterà il giorno nel quale tutti i fenomeni meccanici si spiegheranno con semplici trasformazioni di movimento operate per l'intermediario dell'etere considerato come collegante gli uni agli altri tutti i corpi della natura, e per conseguenza la nozione di *energia potenziale* scomparirà dalla scienza. Sino a quel giorno è opportuno considerare tutte e due le specie di energia. »

Vediamo con un esempio classico, come l'*energia potenziale* e l'*energia attuale* si trasformino una nell'altra colla massima facilità.

Una lamina elastica A è tenuta stretta per un'estremità da una morsa (fig. 179). In quella *posizione*, e se la si considera ad esclusione di ogni altro corpo, come una specie di piccolo universo, di microcosmo (5) si può dire che essa non possiede punto d'energia potenziale, e lo stesso succederà tutte le volte che essa riprenderà quella medesima *posizione*.

(1) Dal latino *potentia*, potenza. L'*energia potenziale* è il potere che possiede un corpo in riposo di eseguire del lavoro.
(2) *Cinetica*, dal greco κίνημα (kinema) movimento.
(3) *Energia attuale*, dal latino *actus*: atto, movimento, impulso, slancio.
(4) Lezione data al Collegio di Francia nel 1880.
(5) *Microcosmo*, dal greco μικρός (micros), piccolo, e κόσμος (cosmos) mondo.

Ma portiamola in *B*: essa è allora deformata ed in quella nuova *posizione*, essa possiede dell'energia potenziale, e ne possiede in copia tanto maggiore quanto più sensibile fu la deformazione.

Abbandonata a sè stessa in *B*, la lamina tende a riprendere la sua configurazione naturale *A* perdendo l'energia potenziale che la sua deformazione ha recato nel sistema. Ma a misura che la lamina elastica partita da *B* si accosta ad *A*, vale a dire *consuma l'energia potenziale che conteneva — appare l'energia attuale;* e questa, che era nulla quando la lamina era in riposo in *B*, cresce costantemente e visibilmente sino in *A*. È l'energia attuale che surroga l'energia potenziale. La lamina si porta poscia a sinistra di *A* e si deforma di nuovo ed ognor più sino in *B'*. Il movimento diminuisce visibilmente da *A* in *B'* e la lamina si arresta in *B'* per ritornare verso la destra. Da *A* in *B'* *l'energia attuale ha ripigliato progressivamente la forma di energia potenziale*, ed i medesimi fenomeni si riproducono ormai indefinitamente.

Fig. 179. — Trasformazioni reciproche d'energia potenziale e di energia attuale.

Nella natura tali trasformazioni dell'energia abbondano. Citiamo a cagion d'esempio l'energia potenziale *che risulta dalla posizione* delle nevi sulla vetta delle montagne, la quale è considerevole. Per persuadersene basta pensare ai terribili effetti delle valanghe nelle quali l'energia potenziale si trasforma per la caduta in energia attuale.

Un altro esempio ce l'offre l'acqua, la quale, immobile in un serbatojo elevato, possiede, causa la sua posizione, una energia potenziale od energia di posizione che si trasformerà, se l'acqua cade, in energia

usufruibile. In ciò sta il segreto dell'energia di un rigagnolo, di un fiume, di una cateratta. L'energia potenziale si trasforma gradatamente in energia attuale a misura che l'acqua, abbandonando la sua posizione primitiva, discende a un livello più basso.

Se si considera una molla, ed il sistema formato dalla Terra e dal peso sostenuto dalla molla, si riconosce che quando il riposo, l'*equilibrio*, è stabilito, i due sistemi hanno eguale tendenza a comunicarsi l'energia: in altre parole essi agiscono uno sull'altro colla medesima *forza*; l'azione è uguale alla reazione. Perciò si chiama *forza* la tendenza che possiedono due sistemi, legati l'uno all'altro, a comunicarsi la loro energia rispettiva.

La sorte di tutte le varietà di energia potenziale o di posizione, dice Balfour Stewart (1) è quella di finire col convertirsi in energia attuale o di movimento. « L'una può paragonarsi ad un capitale depositato presso una banca, l'altra ad una somma di danaro che noi stiamo spendendo. Quando abbiamo danaro presso una banca, possiamo ritirarlo tutte le volte che ne abbiam bisogno; analogamente noi possiamo far uso dell'energia potenziale o di posizione quando ci pare e piace. Per essere meglio compresi, paragoniamo tra loro due molini, l'uno mosso dall'acqua di uno stagno ed un altro mosso dal vento. Nel primo caso è in nostra facoltà aprire le cateratte quando ci aggrada; nell'altro siamo obbligati ad aspettare che il vento (energia cinetica) si metta a soffiare. L'uno possiede l'indipendenza del ricco, l'altro la dipendenza del povero. Se vogliam spingere un po' più in là l'analogia, diremo che il grande capitalista, l'uomo che si è acquistata una *posizione elevata*, è rispettato perchè può disporre di una grande *quantità* di energia; sovrano o generale supremo, egli è potente solo perchè possiede qualche cosa che gli permette di usufruire i servigi altrui. Quando l'uomo ricco paga un operajo che lavora per lui, in realtà egli trasforma una certa quantità della sua energia potenziale o di posizione, in energia attuale o di movimento, precisamente come il mugnajo che fa sgorgare una certa quantità d'acqua dalla sua pescaja allo scopo di obbligarla ad eseguire un lavoro qualsiasi. »

Noi non usufruiamo unicamente l'energia potenziale o l'energia attuale di un sistema il cui movimento è visibile od è reso percettibile per mezzo di un artifizio qualunque, ma eziandio certe energie che nè la configurazione del sistema nè un attento esame dello stesso possono far supporre che esistano.

Dimostriamolo con qualche esempio: Mettiamo 12 grammi di carbone nella piccola coppella *c* (fig. 183) disposta nel seno di una atmosfera di gas ossigeno. Nel sistema così ottenuto sembra che nulla ci sia di attivo. Ma se si accenderà il carbone in un qualche punto, esso brucierà rapidamente con vivo splendore e darà origine a un nuovo gas, l'acido carbonico. Effettuando questa combustione in un vaso pieno d'acqua o calorimetro (2) come lo indica la figura, si riconosce che si sviluppa calore bastante per portare un chilogrammo d'acqua alla temperatura di 97° centigradi. Allora si dice che si svolgono 97 calorie, giacchè,

(1) *La Conservazione dell'energia*, per Balfour Stewart, della Società reale di Londra, professore di filosofia naturale al collegio Owen a Manchester.

(2) Dal latino *calor*, calore, e dal greco *μέτρον* (metron), misura.

per definizione, una caloria è la quantità di calore che fa d'uopo fornire ad un chilogrammo d'acqua per elevarne la temperatura di un grado.

Gli è questo calore sviluppato dalla combustione del carbone che le nostre macchine trasformano parzialmente, come si vedrà, in energia cinetica od attuale. Ed è poi questa che fa girare le ruote di quelle macchine e muover i diversi organi.

Ogni caloria che scompare dà luogo a 425 chilogrammetri di lavoro, vale a dire corrisponde ad un'energia sufficiente per sollevare un peso di 1 chilogrammo all'altezza di 425 metri. Questo fatto sarà verificato più innanzi.

Sciogliendo un metallo in un acido, per esempio il rame nell'acido azotico, si svolge egualmente calore. Tutte le reazioni della chimica sono sempre accompagnate da una manifestazione d'energia calorifica, alla misura della quale si attende oggidì con somma cura. Essa forma l'oggetto della Termochimica.

Fig. 180. — Il fucile Lebel.
Sezione del meccanismo; la cartuccia contenuta nel serbatojo viene spinta nella camera quando si chiude la culatta mobile.

Sonvi sistemi ancor più straordinarii del precedente e che chiudono in sè un'energia considerevole.

Questi sono i *sistemi esplosivi*, i quali, sotto influenze minime danno luogo ad effetti meccanici tremendi. Segnaliamo le diverse polveri piriche (1), il fulmicotone (2), la dinamite, ecc. (3), e sopratutto il

---

(1) Le polveri piriche sono molto varie; le une contengono in diverse proporzioni salnitro, solfo e carbone; in altre si aggiunge a quelle materie clorato di potassio. Le prime son chiamate polveri nitriche; le seconde polveri cloratate.

Le polveri dell'acido picrico contengono un picrato, nitro e carbone. L'acido picrico fu scoperto da Hausmann nel 1788; oggidì lo si prepara trattando l'acido fenico, tratto dagli oli di catrame di carbon fossile e leggermente scaldato, coll'acido nitrico concentrato, si forma una pasta del color giallo oscuro, solubile nell'acqua bollente e che cristallizza in pagliette giallo-chiare per raffreddamento.

(2) Il *fulmicotone* o *cotone-polvere* fu preparato per la prima volta da Schönbein di Basilea nel 1845, trattando il cotone con un *miscuglio ben secco d'acido nitrico e d'acido solforico*. Il metodo fu da prima tenuto secreto, ma poi fu scoperto da diversi chimici tedeschi, inglesi, ecc. In Francia la fabbricazione del cotone fulminante fu affidata al Bouchet nel 1846. La si dovette sospendere causa i cattivi risultati che si ottenevano, fu poi ripresa verso il 1870 al Moulin-Blanc, presso Brest.

Quel corpo ha in tutto e per tutto l'aspetto del cotone; stropicciato nell'oscurità diventa luminoso, mentre il cotone comune non lo è. Arde rapidamente e non lascia residui.

(3) Si chiamano con questo nome certe mescolanze di nitroglicerina con sostanze porose: carbone, sabbia, segatura di legno, cotone, ecc. La nitroglicerina è stata scoperta nel 1847 dal chimico italiano Antonio Sobrero, nel laboratorio di Pelouze. Nel 1860, un ingegnere svedese, Alfredo Nobel, riuscì a preparare questa sostanza, così pericolosa, in grandi quantità. Si versa nella glicerina raffreddata, estratta dai grassi animali, un miscuglio di acido nitrico e di acido solforico, e si ottiene così un olio giallo che si porta sul fondo del vaso. Quel liquido è nitroglicerina.

fulminato di mercurio usato nella fabbricazione delle capsule e delle esche.

La grande quantità di energia racchiusa in masse relativamente piccole di quelle materie e la facilità colla quale si può sprigionarla, rendono prezioso il loro impiego.

Nel numero dei sistemi esplosivi più recenti si trova la *polvere senza fumo* trovata da Vieille, ripetitore alla scuola politecnica, ingegnere in capo delle polveri e nitri.

Le cartuccie del fucile Lebel (fig. 180) sono confezionate con quella polvere (1).

La Germania, parecchio tempo dopo la Francia, riuscì pur essa a fabbricare una polvere senza fumo, della quale si serve pel suo nuovo fucile detto « modello 1888 » (fig. 181) (2).

Le proprietà balistiche (3) dei due fucili sono presso a poco le medesime.

Fig. 181. — Il fucile germanico. (Nuovo modello.)
Sezione del meccanismo: Caricatore a posto e culatta mobile aperta.

La velocità iniziale è di 620 metri per secondo, e la portata massima di 3800 metro. A cento metri la palla trapassa 80 centimetri di legno d'abete e 90 centimetri di sabbia: a duecento metri, 45 centimetri di abete e 50 cm. di sabbia; finalmente a mille e ottocento metri trapassa ancora una tavola d'abete dello spessore di cinque centimetri. Tale è l'energia, che l'esplosione di pochi grammi di polvere Vieille comu-

(1) Il serbatojo o magazzino del *fucile Lebel* consta di un tubo contiguo alla canna; le cartucce vi sono collocate a contatto una dietro l'altra; una molla spirale le spinge indietro per farle cadere in una specie di bacinella che alzandosi le fa passare dal magazzino nella camera quando la culatta mobile è messa in movimento. Quando la bacinella si alza, un uncino d'arresto *C* fa risalto dietro l'ultima cartuccia rimasta nel magazzino. In fine una leva *L* serve a paralizzare l'azione del meccanismo di ripetizione. Quando quella leva è spinta innanzi, la bacinella rimane alzata e l'arma funziona come un fucile da un colpo, nel quale le cartucce si introducono a mano nella camera. Il *fucile Lebel* senza la sua spada-bajonetta misura in altezza met. 1,307 e pesa a vuoto chilogrammi 4,180, e con otto cartuccie nel magazzino chil. 4,415.

(2) Il nuovo *fucile tedesco* differisce dal fucile Lebel dal punto di vista del principio, poichè esso è un'arma a *caricatore* mentre il francese è un fucile a *magazzino*. Ora il caricatore è esso preferibile al magazzino? La Germania si pronuncia affermativamente, tanto è vero che ha respinto il suo fucile a ripetizione, che era a magazzino, per adottare il caricatore. Le cartuccie del nuovo fucile sono riunite in pacchi da cinque in una cassetta-caricatore *C*, che si colloca nella cassetta di culatta dell'arma. L'elevatore *E* spinge le cartucce dal basso in alto: la più alta di esse penetra nella camera e così di seguito sino all'esaurimento della provvigione. La cassetta-caricatore, una volta vuotata, cade da se stessa a terra pel proprio peso, senza che ci sia bisogno di estrarla. Il fucile vuoto non pesa che 3 chilog. e 300 grammi.

(3) Balistica, dal greco βάλλω (ballo), io lancio.

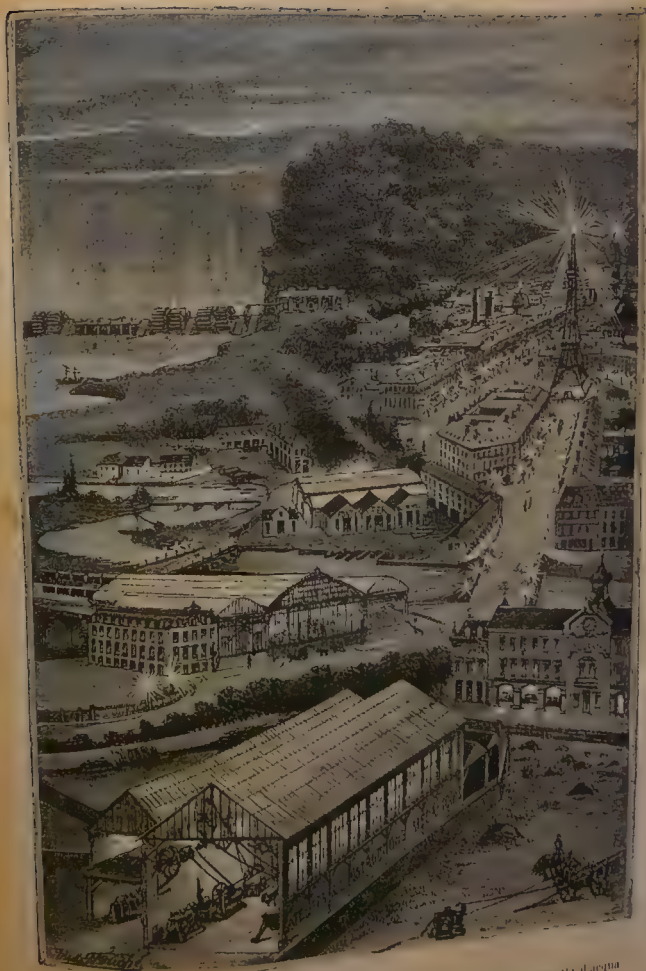



Fig. [illegible]. — La città modello.
Energia elettrica, energia calorifera, energia luminosa, fornite dall'energia di una cascata d'acqua

nica alla palla mercè la pressione che i gas prodotti esercitano su di essa.

Gli apparecchi che permettono di determinare gli effetti meccanici, ed in particolare la pressione sviluppata da un noto peso di una sostanza esplosiva che scoppia in seno ad uno spazio determinato, sono moltissimi. Noi descriveremo soltanto in poche parole e sulle orme di Berthelot (1) quello che si chiama *Crusher* (fig. 183). Esso consta di una pipetta cilindrica d'acciajo dolce che ha il diametro interno di metri 0,022 e la capacità di 24,3 cmc. L'estremità superiore della pipetta è chiusa da un tappo metallico che porta il congegno per appiccare il fuoco.

La carica è sospesa nel mezzo della pipetta e situata in una cartuccia cilindrica, di figura simile alla capacità interna della pipetta. Essa è attraversata da un filo *ff* che si arroventerà facendovi passare una corrente elettrica subito che si vorrà far esplodere la carica.

Il *Crusher* propriamente detto (2), che fu applicato dal capitano Nobel in Inghilterra nelle sue ricerche sulla combustione della polvere, è stabilito in *ab*; esso è costituito da un embolo di acciajo temperato mobile a sfregamento dolce in un canale praticato secondo l'asse del tappo, e da un piccolo cilindro di rame rosso *b* impegnato fra la testa dell'embolo ed un turacciolo connesso a vite alla parte inferiore dell'apparecchio.

Nel momento dell'esplosione l'embolo *a* viene spinto e comprime il cilindro di rame *b* che allora si trova più o meno schiacciato. Se prima di accingersi alla prova si è campionato l'apparecchio, vale a dire si è valutato lo schiacciamento di un dato cilindro di rame sotto l'azione di pressioni esercitate da pesi noti, si possiederanno tutti i dati necessarii per valutare la pressione sviluppata da un esplosivo qualunque. L'energia comunicata al projettile, oltrechè da quella pressione, dipende anche dal grado di rapidità colla quale essa si sviluppa.

L'esplosivo che sviluppa la massima pressione è il fulminato di mercurio (3).

Quando esplode nel suo proprio volume, cioè senza essere stato compresso, quella pressione raggiunge la cifra colossale di *ventisettemila*

(1) **Pietro Eugenio Marcellino Berthelot**, nato a Parigi il 27 ottobre 1827, professore al collegio di Francia, membro dell'Accademia delle Scienze e dell'Accademia di medicina, ispettore generale dell'istruzione superiore, presidente della Commissione delle sostanze esplosive, senatore (1881), ministro della istruzione pubblica (1887), grande ufficiale della legion d'onore. Citiamo fra i suoi notevoli lavori il *Trattato di chimica organica*, la *Forza della polvere e delle materie esplosive*, la *Sintesi chimica*, il *Saggio di meccanica chimica fondato sulla termo-chimica*, le *Origini dell'alchimia*, e *Scienza e filosofia*.

(2) *Crusher*, dall'inglese *crush*, urto, sfregamento, schiacciamento.

(3) Il *fulminato di mercurio* si prepara così: si scioglie una parte di mercurio in dodici parti di acido azotico, ed alla soluzione si aggiungono 11 parti di alcool a 86 centesimi, poi la si porta all'ebollizione in un bagno di sabbia. Appena incominciata l'ebollizione, si ritira il vaso dal fuoco e si lascia che la reazione continui da sè. Cessata che sia la reazione, il fulminato si deposita al fondo del liquido. Per raccoglierlo, si allunga con acqua, si versa sopra un filtro, finalmente si lava il fulminato raccolto sino a che le acque provenienti dalla lavatura non manifestino più reazione acida.

Il fulminato di mercurio presenta l'aspetto di piccoli cristalli bianchi giallognoli. Questo corpo esplode con estrema violenza, così per effetto del calore, come per effetto della percossa, e diventa difficile da maneggiare quando è secco.

Siccome poi la decomposizione del fulminato avviene istantaneamente, questa sostanza non potrebbe essere adoperata come polvere da tiro; nessun'arme è capace di resistere alla sua azione. Il fulminato di mercurio squarcia le pareti di un cannone senza che la palla sia spostata.

chilogrammi per centimetro quadrato, vale a dire produce sulle pareti il medesimo effetto che se ogni centimetro quadrato sopportasse un peso di 27,000 chilogrammi.

Da questi esempii apprendiamo che la natura offre all'industria quantità immense di energia non ancora da essa usufruite, ma che lo saranno in un avvenire più o meno vicino.

È ben vero che si usufruisce in parte l'energia dei venti, delle cadute d'acqua, della corrente dei rivi e dei fiumi, quella sviluppata da diverse combustioni e reazioni chimiche; ma tutto ciò è un nulla a paragone dell'energia che potrebbero fornire le vibrazioni dei mezzi ambienti, il movimento delle onde, quello delle maree, le eruzioni dei vulcani, i terremoti, ecc.

Frattanto ci incombe di segnalare un fatto recente, cioè l'utilizzazione dell'*energia delle onde* che fu fatta ad Ocean-Grove, a circa venti leghe al sud di Nuova York (fig. 184) (1).

« In quella località, la forza delle onde fu impiegata ad elevare le acque del mare in un castello d'acqua, dal quale venivano poi distribuite nelle vicinanze per l'inaffiamento delle vie.

« Fra le pile del ponte d'imbarco, vennero sospesi degli uscioni mobili intorno ad un asse orizzontale situato nella loro parte superiore; parecchie travate furono munite di uscioni consimili: la figura ne rappresenta una. Quegli uscioni hanno lunghezze tali che a bassa marea pescano nel mare per 50 centimetri e ad alta marea per metri 2,10: in quanto alla larghezza, essa è di circa due metri. Le onde nel loro movimento di va e vieni li fanno oscillare sui cardini che li sostengono. Tutti gli uscioni sono prolungati nella parte superiore da una sbarra rigida articolata coll'asta dell'embolo di una pompa orizzontale: ad ogni movimento dell'uscione corrisponde un movimento dell'embolo che spinge l'acqua di mare in un serbatojo situato a dodici metri d'altezza sopra un castello d'acqua. Questo impianto bastò nei giorni calmi ad alimentare abbondantemente il servizio di inaffiamento (2). »

---

(1) Veggasi la *Scienza per Tutti* N. 5 dell'anno 1890.

(2) In una comunicazione fatta all'Accademia delle scienze (seduta del 12 maggio 1890) Maurizio Lévy ha fatto conoscere un sistema nuovo di raccogliere e di trasmettere l'energia *delle maree* dovuto al Decœur, ingegnere di ponti e strade. Il mezzo pratico inventato da quell'ingegnere consiste in una disposizione speciale di bacini con turbine.

Secondo questo sistema, le turbine si piantano in una chiusa trasversale creante una caduta fra due bacini separati dal mare da una diga insommergibile [illegible] attraversando aperture praticate nella diga e chiuse da valvole a cerniera aprentesi verso l'interno. Essa passa continuamente da un bacino all'altro attraversando le turbine che utilizzano la forza motrice di vata alla caduta variabile fra i due bacini, e sfugge a marea bassa da aperture chiuse da valvole che si aprono all'esterno del secondo bacino e che l'acqua alta mantiene chiuse.

La caduta media sarebbe di 2 metri per un'ampiezza di marea di 3 metri. La forza raccolta sarebbe allora di 3 cavalli vapore per ettaro della superficie chiusa dalla diga. Per un'ampiezza media di metri 5.50 (che è quella delle maree all'imboccatura della Senna) la forza sarebbe di 6 cavalli vapore, rappresentante una rendita annua di 1200 franchi. (Si calcolino 200 franchi per cavallo vapore, che consuma 40 tonnellate di carbone per anno a 20 franchi la tonnellata; un cavallo vapore vale 75 chilogrammetri.)

Questo sistema di usufruire le maree si applicherebbe con vantaggio sulle coste della Manica ove le maree stesse raggiungono in certi punti, altezze notevoli, ed alle foci dei fiumi ove la costruzione delle dighe sarebbe utile per fissare il canale e far scomparire il banco che mette ostacolo alla navigazione.

Numerosi sono i progetti che furono studiati per migliorare la navigazione della Senna marittima. La combinazione di quei progetti con quello che avrebbe per iscopo di usufruire le maree alla foce della Senna, permetterebbe di risolvere economicamente quel doppio pro-

La forza delle onde è talvolta colossale; secondo gli esperimenti dell'ingegnere Stewenson sulla costa occidentale della Scozia, esposta a tutta

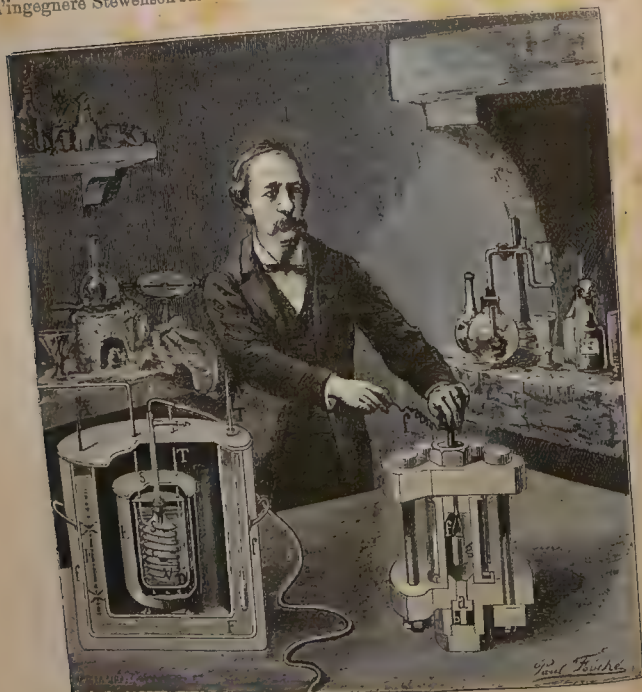



Fig. 183. — 1. Energia calorifica prodotta dalla combustione del carbonio.
D, Calorimetro di platino contenente acqua. — E, Recinto inargentato o sala. — F, Doppio recinto di latta riempito d'acqua. — ff, Involucro di feltro denso. — V, Camera della combustione, vaso di vetro nel quale arriva il gas ossigeno pel tubo L. — SS, Serpentino di vetro che si apre nella camera V e pel quale possono sfuggire i gas della camera. — A, Agitatore. — T, Termometro. — c, Coppella contenente il carbone.

2. Esperimento del Crusher, eseguito da Berthelot; pressione sviluppata da un esplosivo.
g, Cartuccia che contiene la carica. — a, Embolo. — b, Cilindro di rame. — ff, fili che conducono la corrente nella cartuccia.

blema. Con una diga di circa 25 chilometri di lunghezza, fra Tancarville e le Havre, si potrebbero separare dal letto del fiume 7000 ettari di terreno coperti ad alta marea. Quei terreni, usufruiti come serbatoio di forza motrice, darebbero un reddito di 8,500,000 franchi per 42,000 cavalli vapore. I sistemi di trasporto già noti permetterebbero di distribuire quella energia nei dintorni del Havre ed anche a Parigi con un rendimento soddisfacente.

la furia dell'Atlantico, la pressione media esercitata dall'onda sopra la superficie di un piede quadrato inglese (ossia di m. 0,0929) è eguale ad un peso di 277 chilogrammi durante i mesi d'estate ed a 946 chilogrammi durante i mesi d'inverno. Nel corso di una burrasca quella pressione si elevò a 2759 chilogrammi. Il medesimo osservatore calcolò che il faro di Bell-Rock, sul mare del Nord, ebbe a sopportare, da parte

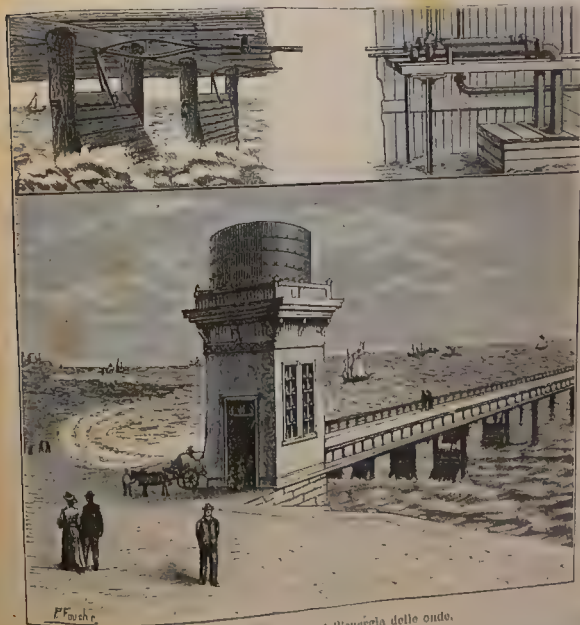



Fig. 181. — Utilizzazione dell'energia delle onde.

delle onde sollevato da una tempesta, una pressione di 3000 chilogrammi per metro quadrato. In un'altra burrasca, un masso di calcare del peso di 7000 chilogrammi fu strappato all'estremità ovest del molo di Plymouth e trasportato a 45 metri di distanza. Infine, nelle Ebridi, un masso valutato 42 mila chilogrammi di peso fu respinto a parecchi metri dalla sua sede dalla sola energia delle onde.

Non è da fare le meraviglie se l'utilizzazione dell'energia naturale ha fatto relativamente pochi progressi; i motori a vapore progredirono

più lentamente ancora, tanto è vero che i primi non figurarono alle esposizioni di Parigi se non nel 1855.

In tutti i casi sarebbe mestieri saper raccogliere, immagazzinare l'energia là ove si manifesta, e poterla agevolmente condurre al sito ove deve essere usufruita, trasformata.

Il problema verrà sciolto, e lo è già in gran parte, per mezzo della forma d'energia più singolare che conosciamo, l'ENERGIA ELETTRICA, della quale stiamo ora per occuparci.

Fig. 185. — Ottone di Guericke e la prima macchina elettrica a strofinio. (Globo di solfo.)

CAPITOLO II.

L'ENERGIA ELETTRICA.

Oggidì si indicano col nome di *fenomeni elettrici*, o concernenti l'ENERGIA ELETTRICA, un complesso notevole di fatti estremamente varii e che è impossibile di caratterizzare brevemente. Se si vuole formarsi un concetto preciso della fisionomia attuale della *scienza elettrica*, non si può a meno di esaminare successivamente tutti quei fatti.

L'istoria dello stentato esordire di questa scienza irradia sul complesso dell'edificio una splendida luce; perciò ne toccheremo i punti più importanti.

Il più antico tra i fenomeni, quello che serve per *definire* che cosa si debba intendere per corpo *elettrizzato* o *caricato* d'elettricità era già noto sei secoli prima dell'èra nostra.

Infatti, Talete di Mileto, uno dei sette savii della Grecia, fa menzione della strana facoltà che possiede il *succino* o *ambra gialla* il quale attrae a sè, aspira per così dire, i corpi leggieri situati in sua vicinanza, qualunque ne sia la natura. Il succino, afferma il filosofo, « è dotato di un'anima ed attrae, come con un respiro, i corpi leggieri. »

Plinio, seicento anni più tardi, aggiunge « che per dare al succino il calore e la vita, è necessario lo *strofinamento*. »

L'ambra, o succino, è una resina fossile che accompagna i depositi combustibili dei terreni terziarii; la si rinviene sopratutto nelle dune sabbiose delle rive del Baltico. I Fenici da quel mare la portavano ai Greci, e questi le attribuivano un'origine mitologica: l'ambra sarebbe stata formata dalle lagrime delle Eliadi, figlie del sole. « Non è egli uno strano fatto, disse Hœfer, quello di veder qui intervenire il sole, che Keplero più tardi doveva considerare come un'immensa calamita, regolatrice del nostro mondo? »

Ogni corpo che si comporta come l'ambra strofinata vien detto *elettrizzato*, qualifica tratta dal nome greco dell'ambra (1).

L'indizio dell'*elettrizzazione* di un corpo, il carattere *elettroscopico* (2) primitivo, è dunque l'attrazione dei corpi leggieri; pallottole di midollo di sambuco, barbe di penna, pezzettini di carta, goccioline liquide, fumi densi, ecc.

Le cognizioni elettriche rimasero stazionarie per più di duemila anni, e fa d'uopo arrivare al principio del XVII secolo per riconoscere finalmente un progresso.

In un libro notevolissimo pubblicato nel 1600 da Guglielmo Gilbert, medico di Elisabetta regina d'Inghilterra, e che ha per titolo *De Magnete* (della calamita) (3) si trovano descritte molte esperienze elettriche. Da quell'epoca data l'introduzione nella scienza del vero metodo esperimentale, il solo fecondo.

Dopo essersi occupato della « pietra calamita » o calamita naturale, Gilbert riconosce che certe pietre preziose, come il diamante, lo zaffiro, il rubino, l'ametista, l'acquamarina; e certe sostanze volgari, il solfo, la gommalacca, la resina, il salgemma, il vetro, possiedono esse pure la proprietà di attrarre i corpi leggieri, di spostare un ago leggiero posato orizzontalmente sopra un perno, dopo che furono strofinate con un panno o altrimenti.

D'allora in poi l'ambra, il giavazzo, il lincurio (4) degli antichi, non furono più le sole sostanze favorite.

L'elettrizzazione delle sostanze sotto l'influenza dello strofinamento diventava un fenomeno generale.

Da quel momento in poi i progressi furono rapidi. L'anno precedente alla morte di Gilbert nasceva, in Magdeburgo, Ottone di Guericke (5), colui che essendo borgomastro di quella città, costruì la prima macchina elettrica (fig. 185). Essa era composta unicamente da un globo

---

(1) ἤλεκτρον, electron, *ambra* o *succino*.

(2) Dal greco ἤλεκτρον, elettricità, e σκοπέω (scopeo), osservo.

(3) Il vero titolo dell'opera di Gilbert è il seguente: *De magnete magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure; physiologia nova plurimis et experimentis demonstrata. Gulielmi Gilberti, colcestrensis medici londinensis. Londini*, anno 1600. Gilbert, nato a Colchester nel 1540, morì a Londra il 30 novembre 1603.

(4) Il *lincurio* dicevasi essere prodotto dalla lince. Codesto animale geloso aveva cura di nascondere altrui la sua preziosa orina che non tardava ad indurirsi. Plinio, che fa giustizia di quella fola, dice che ai suoi tempi il lincurio non si vede più e pensa che esso altro non sia che il succino mal conosciuto.

(5) Ottone di Guericke, fisico, nato a Magdeburgo (Sassonia) nel 1602, morto ad Amburgo nel 1686; inventò non solo la prima *macchina elettrica*, ma anche la prima macchina per fare il vuoto o *macchina pneumatica*, si occupò altresì d'astronomia e fu uno dei primi ad annunciare la possibilità di predire il ritorno delle comete.

di solfo, fuso in un pallone di vetro, e che era montato sopra un asse, dopo essere stato separato dal vetro che gli aveva servito da stampo. Quell'asse era disposto orizzontalmente sopra sostegni di legno. Gli si imprimeva colla mano un rapido movimento di rotazione per mezzo di una manovella, mentre lo si premeva coll'altra mano bene asciutta o avvolta in un panno. Il globo si elettrizzava fortemente e lo si toglieva dai sostegni per farlo servire nei diversi esperimenti.

Fra le altre cose Ottone di Guericke nelle sue *Nuove esperienze, dette di Magdeburgo*, sul vuoto, indica:

1.° Che l'attrazione d'un corpo leggiero da parte del globo di solfo è seguita dalla ripulsione di quel corpo leggiero (1672);

2.° Che se si porta con sè il globo in uno stanzino bujo, e lo si stro-

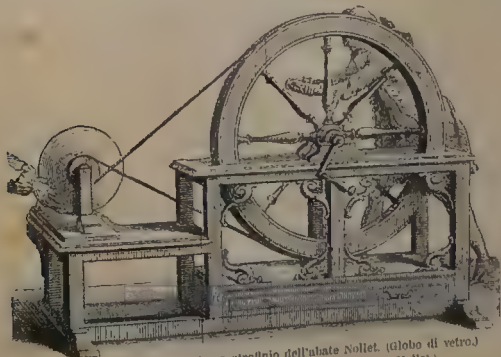



Fig. 186. — Macchina elettrica a strofinio dell'abate Nollet. (Globo di vetro.) (Fac-simile dell'incisione del *Saggio sull'elettricità* per Nollet.)

fina colla mano asciutta, diventa luminoso come lo zucchero quando lo si infrange;

3.° Che i lucori elettrici sono accompagnati da un ronzio ben percettibile quando si avvicina il globo all'orecchio.

Stando a quanto ne dice Enrico Martin (1) anche gli antichi avevano osservato, ben inteso senza conoscerne la natura, scintille e lucori elettrici. Ecco qua, per esempio, cosa racconta Damascio capo della scuola d'Atene sotto Giustiniano: « Nel V secolo, sotto il regno di Antemio, il patrizio romano Severo possedeva in Alessandria un cavallo che quando lo si strofinava emetteva scintille; tale prodigio annunziava a Severo il consolato, che ebbe poi nel 460. » Damascio appoggiandosi a Plutarco, dice altresì che Tiberio, ancor fanciullo, possedeva un asino che col medesimo fenomeno gli pronosticava il potere imperiale, e che Valamiro, compagno di Attila e padre di Teodorico il Grande, emetteva egli medesimo scintille. « Succede a me pure, soggiunge Da-

(1) *Il fulmine*, l'elettricità ed il magnetismo presso gli antichi (1866).

mascio, benchè assai di rado, di vedere quando indosso o svesto i miei indumenti scoccare scintille che fanno udire un lieve strepito; qualche volta persino le mie vesti sembrano coperte di fiamme che rischiarano senza bruciare, e non so che cosa ne uscirà da questi prodigi. » Lo stesso filosofo afferma di aver veduto un uomo che, stropicciandosi la testa con una stoffa di lana ben rozza, ne traeva scintille al punto da produrre una fiamma.

Strabone racconta, che poco tempo prima dell'assassinio di Cesare, si videro uscire dalle estremità delle dita del valletto di un soldato numerose scintille che facevano quasi supporre che quelle mani fossero in fiamme, senza ch'egli ne risentisse alcun male.

Plinio scrive che qualche volta, di sera, certi uomini hanno il capo circondato da un'aureola luminosa, e che codesto è un presagio della massima importanza. Lo storico Valerio d'Anzio riferisce che fiamme non malefiche avevano circondato la chioma di Servio Tullio nella sua culla, e la testa di Mario, quando in Ispagna dopo la morte di Scipione esortava i soldati romani alla vendetta.

Per ultimo Giulio Obsequens dice che ad Anagni, nell'anno 619 di Roma, la tunica di uno schiavo sembrò in fuoco e fu trovata intatta quando la fiamma fu scomparsa, e che in Lucania, nel 660, parecchie mandre apparvero circondate da fiamme e nessun male patirono.

Presso a poco nell'epoca stessa di Ottone di Guericke, il dottore inglese Wall verificava dal canto suo la scintilla e il crepitio che si svolgono da un pezzo d'ambra voluminoso, tagliato in forma di cono, dopo lo strofinamento; in questo caso non è necessario di avvicinare il cono d'ambra all'orecchio.

Wall ha fatto il racconto de' suoi esperimenti nelle *Transazioni filosofiche della Società reale di Londra* dell'anno 1708.

« Strofinando con forza il pezzo d'ambra con un pannolano, egli scrive, e stringendolo poscia energicamente colla mano, intesi un numero prodigioso di piccoli scoppiettii cadauno dei quali produceva un picciol sprazzo di luce. Se taluno presentava il dito a piccola distanza dall'ambra, si sentiva uno scoppiettio più forte accompagnato da un grande splendore di luce. Ciò che più mi stupisce in questo fenomeno, si è che il dito viene colpito molto sensibilmente e che si riceve una impressione di vento qualunque sia la parte da cui lo si presenta. Lo scoppiettio è forte quanto quello di un carbone sul fuoco: una sola frizione ne produce cinque, sei e anche di più secondo la prontezza colla quale si mette il dito, ed ogni scoppiettio è seguito da luce. Ora io non dubito punto che servendosi di un pezzo d'ambra più lungo e più grosso gli scoppiettii e la luce abbiano ad essere più intensi. Quella luce e quello scoppio mi sembra che in qualche modo rappresentino il lampo ed il tuono. »

Il fisico inglese Hawksbee (1) verso la fine del secolo XVII sostituì al globo di solfo di Ottone di Guericke un globo od un cilindro di

(1) Francesco Hawksbee o Hauksbee, fisico inglese, membro della Società reale di Londra, pubblicò i risultati de' suoi esperimenti sull'elettricità nelle *Transazioni filosofiche della Società reale di Londra* (che corrispondono ai nostri Atti e Resoconti degli Istituti scientifici) dal 1705 a 1711; autore delle *Esperienze di fisica sulla produzione della luce e dell'elettricità* (Londra 1709.)

vetro (fig. 186). Con questo mezzo si ottengono effetti elettrici più spiccati. Da quell'epoca in poi l'uso del vetro in elettricità divenne più generale.

Le memorabili esperienze di Stefano Gray (1) sulla *Conducibilità elettrica*, e dalle quali il Gray seppe dedurre conseguenze importantissime, vennero fatte per mezzo di un tubo di 3 piedi e 1/2 di lunghezza e di oltre un pollice di grossezza chiuso alle sue estremità con due tappi di sughero. Stimiamo utile farle conoscere.

Ecco un compendio molto esatto (2) di quelle esperienze:

« Un giorno, Gray, avendo come al solito strofinato il suo tubo colla lana, notò che uno dei capi del tubo era alternativamente attratto e respinto così dal turacciolo come dal vetro. Naturalmente concluse che l'elettricità si comunicava mediante il contatto dall'uno all'altro (3). Volle sapere se il sughero godesse di uno speciale privilegio o se qualsiasi altra sostanza, per esempio il legno, fosse pure suscettibile di elettrizzarsi così indirettamente. Egli prese dunque una bacchettina di legno d'abete lunga quattro pollici, attaccò ad una delle sue estremità una pallina d'avorio e la piantò in uno dei turaccioli che servivano a chiudere il tubo; poi, avendo strofinato il vetro, avvicinò alla pallina alcuni corpi leggieri, che furono subito attratti.

« Alla bacchetta di quattro pollici, Gray ne sostituì successivamente altre sempre più lunghe, e persino canne di 3 a 4 metri, senza che l'attrazione esercitata dalla palla d'avorio diminuisse di intensità. Allora sospese quelle canne ad una funicella di canapa passata nel tappo

(1) Stefano Gray, fisico inglese, nato nel 1662, morto nel 1736. I suoi lavori sono stati pubblicati nelle *Transazioni filosofiche*, degli anni 1731 1732.

L'ultimo esperimento che fece Stefano Gray cagionò tale emozione a quel fisico, che gli abbreviò la vita; tale per lo meno era l'opinione del dottore Mortimer, allora segretario della Società reale di Londra cui Stefano Gray confidò il risultato dell'esperimento eseguito la vigilia della sua morte: « Si prenda, dice Gray, una piccola palla di ferro di un pollice a un pollice e mezzo di diametro, la si deponga sopra una stiacciata di resina elettrizzata di sette od otto pollici di diametro, e si tenga fra il pollice e l'indice, diritto sopra il centro della palla, un corpo leggiero, come sarebbe un piccolo frammento di sughero sospeso ad un filo sottile lungo da cinque a sei pollici; si vedrà il corpo leggiero incominciare da sè medesimo a muoversi intorno alla palla, e ciò da occidente ad oriente. Se la stiacciata di resina è di forma circolare e la palla di ferro ne occupa esattamente il centro, il corpo leggiero descriverà un circolo intorno alla palla; ma se questa non occupa esattamente il centro della stiacciata elettrizzata esso descriverà un ellisse la cui eccentricità è proporzionale alla distanza che passa fra il centro della palla ed il centro della stiacciata. Se la stiacciata è di forma ellittica e la palla di ferro ne occupa il centro, l'orbita tracciata dal corpo leggiero sarà pure un'ellisse della medesima eccentricità della forma della stiacciata. Se la palla viene collocata in uno dei fuochi dell'ellisse, il corpo leggiero si moverà più celeremente al perigeo che all'apogeo della sua orbita. » Stefano Gray, dopo quell'esperimento, si credette sul punto di sciogliere il problema della dinamica del sistema solare: « Questo movimento si effettuerà costantemente nel medesimo senso di quello nel quale i pianeti si movono intorno al sole, vale a dire da destra a sinistra o da occidente verso oriente; ma il piccolo pianeta, se posso esprimermi così, si move molto più veloce nelle parti dell'apogeo che in quelle del perigeo della sua orbita, lo che è direttamente contrario al movimento dei pianeti intorno al sole. » Gray soggiunge che l'esperimento non gli era riuscito se non quando il filo era tenuto dalla mano di un uomo; supponeva tuttavia che sarebbe riuscito facendo sostenere il filo da qualunque essere vivente. Il dottore Mortimer ripetè l'esperimento con buon esito, ma Wheler non ottenne che risultati indecisi. Il francese Du Fay, amico di Gray, che ritentò quegli esperimenti, dichiara nelle *Memorie dell'Accademia delle Scienze*, anno 1737 che ottenne il movimento circolare del corpo leggiero, ma non costantemente nel senso indicato da Gray; quel movimento qualche volta era diretto da occidente ad oriente, altra volta da oriente ad occidente.

(2) Tolto dal libro *Il fuoco del cielo*, per Arturo Mangin (1861).

(3) Già un mezzo secolo prima Ottone di Guericke aveva notato l'elettrizzazione di un corpo per semplice contatto con un corpo già elettrizzato, e la trasmissione della *virtù elettrica* lungo una corda di canape sino alla distanza di un'auna. Ma allora nessuno badò a quei fatti.

e salì sul verone del primo piano della sua casa. Colà, strofinò il vetro, e la palla, che pendeva a pochi centimetri di distanza dal suolo e che una distanza di circa 26 piedi (pari a metri 8,50 circa) separava dal tubo, continuò ad attrarre i corpi leggieri come prima. Gray allungò la fune e salì al secondo piano: l'attrazione seguitò a farsi sentire. Salì sul tetto; eguale risultato. Arrivato lassù si trovò per un momento impacciato per spingere più innanzi le sue prove: prendere una fune più lunga era cosa facile; ma egli poi dove si sarebbe collocato? Gli sarebbe stata necessaria, come a Galileo per le sue esperienze sulla gravità, la celebre torre di Pisa dalla quale il suo conduttore elettrico avrebbe potuto cadere verticalmente sino al suolo senza toccare il muro dell'edificio. Ma per sua ventura pensò che la posizione verticale non era indispensabile, e nè anche la linea retta, quindi si decise a sospendere la sua fune in una sala, per mezzo di cordicelle attaccate a chiodi infissi nelle pareti e nel soffitto e di obbligarle a fare parecchi giri.

- Assestate così le cose, strofinò il suo tubo di vetro, ed interrogò la palla d'avorio piantata, come precedentemente, all'estremità del conduttore. Le cose non andarono a seconda delle sue speranze, l'attrazione non si manifestava più; il fluido si era fermato o si era smarrito per la strada. Dove? Come? Gray non potè scoprir nulla, e nella sua perplessità risolvette di ricorrere ai lumi ed alla sagacia di un suo amico, chiamato Wheeler, fisico valente, ed in particolar modo versato nella scienza dei fenomeni elettrici.

- D'accordo con esso lui, incominciò col ripetere le sue prime esperienze che riuscirono a meraviglia; ma quando furono a quella di esperimentare sopra una fune di canapa sospesa orizzontalmente per mezzo di cordicelle di canapa, la prova, ripetuta parecchie volte, non diè risultato di sorta. Non pertanto i due fisici vollero un giorno tentare un'ultima prova. La fune della quale si servivano non aveva meno di 80 piedi di lunghezza. Wheeler, pensando che cordicelle comuni non basterebbero a sostenerla, concepì l'idea di servirsi di cordoncini di seta, sostanza molto più resistente della canape. Si imagini lo stupore e la gioja dei due sperimentatori quando videro il fluido trasmettersi senza ostacoli e punto indebolito all'estremità della fune così sospesa.

« L'indomani ripeterono l'esperimento, ma questa volta con una fune lunga 147 piedi, piegata due volte su sè stessa; poi, al dopodomani con una fune di 125, mantenuta in linea retta sempre con cordoncini di seta; e la trasmissione si effettuò col medesimo esito felice.

- Finalmente, il 3 luglio 1729, mentre tutto era pronto per l'esperienza, il cordoncino di seta si ruppe. Senza dubbio si sarebbe potuto riannodarlo; ma nella tema che si rompesse di nuovo, e non avendone di scorta per cambiarlo, Wheeler ideò di surrogarlo per maggior sicurezza con un filo d'ottone. Attaccatolo solidamente e sospesa debitamente la fune, si diedero a strofinare il bastone di vetro, poi presentarono all'estremità del conduttore alcuni corpi leggieri. Tutto fu inutile: il conduttore non conduceva più, e l'attrazione non si faceva punto sentire. Dunque il fluido si era di bel nuovo smarrito per istrada. Avvicinando questo risultato a quelli già in precedenza verificati, Gray e Wheeler non ci misero molto tempo a concludere che tutto dipendeva dalla sostanza di cui era formato il filo che serviva a sospendere la

fune. Questa, che era di canape, trasmetteva bene la forza elettrica, ed era naturale in fatti che la cordicella della medesima materia la trasmettesse egualmente e che per questa via la forza stessa andasse a perdersi nel suolo. Il filo d'ottone evidentemente fruiva della medesima proprietà conduttrice, mentre la seta ne era intieramente priva. »

Codeste osservazioni, dovute, come ben si vede, a circostanze tutte fortuite, furono per Gray e Weeler il punto di partenza per indagini di un altro ordine. Essi si misero a studiare le diverse specie di corpi dal punto di vista della *conducibilità elettrica*, e riconobbero, prima di tutto, che il vetro, il solfo, le resine, il diamante, gli olii, gli ossidi metallici (o le *terre* come allora le chiamavano), ecc., non conducevano punto l'elettricità, la quale per converso si propagava facilmente pei metalli, i liquidi acidi ed alcalini, i corpi degli animali, l'acqua, ed in generale tutte le sostanze umide, ecc.; in secondo luogo, che i corpi

Fig. 187. — Conduttore della macchina Nollet (carica e scarica di una bottiglia di Leida.)

cattivi conduttori (1) si elettrizzavano bene strofinandoli, mentre i corpi buoni conduttori non si elettrizzavano punto.

Per dimostrare che l'elettricità viene trasmessa dai corpi degli animali ed in particolar modo dal corpo umano, l'illustre fisico Gray collocò un fanciullo sopra una sostanza isolante (stiacciata o disco di resina) ovvero lo sospese orizzontalmente per mezzo di corde di crine, poi lo toccò col suo tubo elettrizzato. Di subito osservò che il fanciullo attirava colle mani, col viso e con tutte le parti delle sue vesti i corpi leggieri che gli venivano avvicinati (fig. 189).

Da ciò evidentemente risulta l'impossibilità di verificare l'elettrizzazione di un corpo conduttore, di una verga metallica, per esempio, quando la si strofina tenendola in mano. In fatti in questo caso non

(1) Chiamansi pure *corpi isolanti*, ed anche, dopo Faraday, *dielettrici* (dal greco [illegible] dia (dia): indicante separazione fra i conduttori). Non c'è un isolante assoluto; le sostanze formano una catena continua dalle meno conduttrici sino ai metalli, che sono i conduttori per eccellenza.

Oggidì si isolano i conduttori per mezzo di gomme diverse, di vetro, di cera, di stiacciate di paraffina o di sostegni di vetro a foggia di vasi, ma mantenuti secchi coll'acido solforico che contengono, e che si chiamano *isolatori Mascart*.

è la sola verga che fa d'uopo elettrizzare, ma la verga, il corpo e la terra. Si capisce dunque che la carica che si potrebbe sviluppare essendo divisa sopra un sistema sì vasto, in luogo di rimanere sulle parti strofinate, non sarà più capace di produrre effetti apprezzabili.

Questo ragionamento è esatto, poichè l'esperienza mostra che la verga metallica sarà perfettamente elettrizzata per strofinamento, se si ha la precauzione di brandirla per un manico od impugnatura, formata da una sostanza isolante quale è il vetro, la resina, l'ebonite, ecc. Oltre a ciò, appena si tocca quella verga elettrizzata, essa ritorna al suo stato naturale, si scarica trovandosi messa in comunicazione col suolo (1).

Du Fay (2) membro dell'Accademia delle Scienze, completò gli esperimenti di Gray sull'elettrizzazione del corpo umano.

Essendosi egli steso su una tavola sorretta da cordoni di seta, si fece elettrizzare mediante il contatto di un tubo di vetro strofinato analogo a quello di Gray, e tenuto in mano dal suo ajutante, l'abate Nollet. Questi avvicinando di poi un dito alla faccia di Du Fay, ne trasse una scintilla che fece provare ad entrambi la sensazione di una leggiera puntura.

Questa è la prima scintilla che sia stata tratta da un corpo umano.

Inoltre il Nollet (3) vide nel bujo, con somma sua meraviglia, la persona del suo illustre maestro tutta avviluppata da un'aureola luminosa.

Nel 1733, il Du Fay fece fare un passo notevole alla scienza elettrica. Egli scoprì, per caso, che i corpi elettrizzati non si comportano tutti ad un modo rispetto ad uno stesso corpo pure elettrizzato. Si avvide che un filo di seta, prima attratto da un tubo di vetro, veniva poscia costantemente da esso respinto mentre allora era attratto da un bastone di gomma elettrizzato. Il contrario avveniva se il filo di seta era stato prima a contatto del bastone di gomma. Ecco come il Du Fay

(1) Il *suolo* in fisica, è un corpo qualunque in relazione colla terra, per esempio: un becco di gas, un tubo di condotta d'acqua.

(2) Carlo Francesco de Cisternay Du Fay, nato a Parigi il 14 settembre 1698, membro dell'Accademia delle Scienze, sezione di chimica; si occupò di argomenti scientifici svariatissimi; [illegible] con Stefano Gray e, come dice Fontenelle nel suo *Elogio degli Accademici*, quei due grandi intelletti si illuminarono, si animarono vicendevolmente e pervennero uniti a fare scoperte sì importanti ed inaudite che avevano bisogno di attestarne e di confermarne l'uno all'altro la verità. Era necessario per esempio che si facessero reciproca testimonianza di aver veduto un fanciullo diventar luminoso per esserne certi. Da ciò si argomenti come i fenomeni elettrici avessero per gli scienziati di quell'epoca qualche cosa di meraviglioso. I lavori del Du Fay furono pubblicati nelle *Mémoires de l'Académie des Sciences* (anni 1733, 1734 e 1737).

Du Fay morì il 16 luglio 1739, intendente del giardino del re o giardino delle piante: propose come suo successore un giovane scienziato, ancora ignoto ai suoi contemporanei, il quale [illegible] il grande Buffon.

(3) Nollet abate Giovanni Antonio, fisico, nato a Pimprè, nel 1700, morto a Parigi nel 1770. Associato dal Du Fay alle di lui ricerche nell'elettricità, membro dell'Accademia delle Scienze, pubblicò il *Saggio sull'elettricità dei corpi* (1746), le *Lettere sull'elettricità* (1753), le *Lezioni di fisica sperimentale*, le *Ricerche sulle cause particolari dei fenomeni elettrici*.

Nel *Saggio sull'elettricità dei corpi* Nollet descrive minuziosamente la *macchina elettrica* [illegible] della quale riproduciamo il disegno nella figura 186; ed aggiunge: « Per [illegible] girare e tenere le due mani nude [illegible] alla parte inferiore. Non è già che non si possa elettrizzare [illegible] qualche altra cosa; la massima parte dei tedeschi si servono di [illegible] pelle [illegible] quella pelle con tripolo polverizzato, ma dopo [illegible] in tutti i modi, io son ritornato allo strofinare a mano [illegible] più comodo e più efficace. »

parla de' suoi esperimenti, nella terminologia della sua epoca, che non è per nulla quella dei nostri giorni, ma che è interessante meditare.

« Ho scoperto, dice Du Fay, un principio semplicissimo, che spiega la massima parte delle irregolarità e, se posso servirmi del vocabolo, dei capricci che sembrano accompagnare la massima parte delle esperienze d'elettricità.

« Quel principio è il seguente: *i corpi elettrici attraggono tutti quelli che non lo sono, e li respingono appena che sono diventati elettrici causa la vicinanza od il contatto del corpo elettrico.* Perciò, una foglia d'oro è prima attratta dal tubo, acquista elettricità col toccarlo e conseguentemente viene di subito respinta. *Essa non vien più attratta sin che conserva la sua qualità elettrica; ma se, mentre è così sostenuta in aria, avviene che essa tocchi qualche altro corpo, essa perde all'istante la sua elettricità e per conseguenza viene nuovamente attratta dal tubo*, il quale dopo averle somministrata una nuova carica di elettricità, la respinge una seconda volta, e questa ripulsione continua sempre sin tanto che il tubo conserva la sua potenza. Applicando questo principio ai varii esperimenti d'elettricità, si rimarrà meravigliati del numero dei fatti oscuri che esso rischiara. »

Le osservazioni che precedono erano già state fatte da Ottone di Guericke, ma la grande scoperta di Du Fay è esposta nelle linee seguenti:

« Il caso, egli dice, mi ha presentato un altro principio più universale e più notevole del precedente e che getta nuova luce sull'elettricità. Questo principio è che vi sono due sorta di elettricità molto diverse l'una dall'altra: l'una che ho chiamato *elettricità vitrea*, l'altra *elettricità resinosa*. La prima è quella del vetro, del cristallo di rocca, delle pietre preziose, del pelo degli animali, della lana e di molti altri corpi. La seconda è quella della resina, dell'ambra, della gomma copale, della gomma-lacca, della seta, del refe, della carta e di buon numero di altre sostanze.

« Il carattere di queste due elettricità è quello di respingersi esse medesime e di attrarsi l'una coll'altra. Quindi un corpo dotato di elettricità vitrea respinge tutti i corpi che possiedono elettricità vitrea, e per converso attrae tutti quelli che possiedono elettricità resinosa. Consimilmente i resinosi respingono i resinosi ed attraggono i vitrei. Da questo principio si può agevolmente dedurre la spiegazione di gran numero di altri fenomeni, ed è probabile che codesta verità ci conduca alla scoperta di molte altre cose. »

Le denominazioni di elettricità vitrea e di elettricità resinosa, che aveva introdotto l'illustre fisico Du Fay, non vennero conservate.

Infatti esse peccano in ciò, che uno stesso corpo, il vetro e la resina e così qualunque altro, può prendere le due elettrizzazioni a tenore delle condizioni nelle quali lo si pone.

Canton (1) il primo, notò che il vetro smerigliato, strofinato con una stoffa di lana, prende una elettrizzazione contraria a quella di un ba-

(1) John Canton, fisico ed astronomo inglese, nato a Stroud nel 1718, morto nel 1772, membro della Società reale di Londra, direttore dell'Accademia di Spital Square; fu il primo a riprodurre in Inghilterra gli esperimenti di Franklin sull'elettricità atmosferica, fece la prima dimostrazione sperimentale della compressibilità dei liquidi.

stone di vetro pulito e levigato strofinato nelle identiche condizioni, di maniera che il vetro appannato sarebbe resinoso.

Perciò, in certe date condizioni, si chiamano corpi elettrizzati positivamente o *positivi* quelli che si comportano come il vetro liscio strofinato sopra un pannolano, e corpi elettrizzati negativamente o *negativi* quelli che al contrario si comportano come la resina parimente strofinata sopra una stoffa di lana. Si indica sempre il primo stato (stato *positivo*) col segno + (più), ed il secondo stato (stato *negativo*) col segno — (meno) (1) (fig. 188).

Non v'ha luogo per introdurre una terza qualifica distintiva, poichè l'esperienza non ha mai presentato esempii di corpi elettrizzati che non fossero compresi nell'una o nell'altra delle due categorie precedenti.

Dopo Epino, Wilke, e gli altri fisici della fine del secolo XVIII, è cosa notoria che due corpi strofinati l'uno sull'altro si elettrizzano simultaneamente e prendono due elettrizzazioni *opposte*. Uno dei due corpi è *positivo*, l'altro *negativo*. Oltre a ciò, quelle due elettrizzazioni sono *equivalenti* in questo senso che i due corpi mantenuti a contatto non esercitano azione veruna su corpi leggieri posti vicino ad essi.

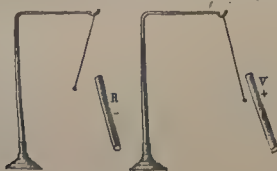



Fig. 188. — Scoperta di Du Fay: elettricità vitrea ed elettricità resinosa.

Ecco come, secondo Faraday, si possono dimostrare quei diversi fatti:

Si prende un bastone di ceralacca del quale si elettrizza una estremità strofinandola con una piccola cuffia di seta che la riveste ed alla quale è attaccato un filo di seta mediante il quale si può levare la cuffia stessa senza toccarla. Se si avvicina il bastone così predisposto a corpi leggieri, per esempio ad una pallottola di midollo di sambuco, sospesa ad un filo isolante (fig. 190) questa rimane in riposo, il che prova ad evidenza che la cera coperta dalla cuffia non possiede azione esterna. Si levi un po' la cuffia? Ecco la pallottola di sambuco precipitarsi sulla cera, elettrizzarsi per contatto com'essa e ritornare indietro in conseguenza della ripulsione che allora esercita sovr'essa il bastone di cera. Se invece si avvicina alla pallottola così elettrizzata la cuffia di seta, essa viene attratta, il che prova ad evidenza che per lo strofinamento la cera e la seta presero elettrizzazioni antagoniste, opposte.

(1) L'autore di questo sistema di indicare le diverse elettricità è Beniamino Franklin; secondo la teoria di questo celebre scienziato, sulla quale avremo occasione di ritornare, l'elettricità si accumula in certi corpi ove allora è in più, e si dirada in certi altri nei quali allora è in meno.

Codesta *elettrizzazione doppia*, codesta *polarità elettrica*, come spesso si dice assimilando le due elettrizzazioni osservate agli effetti opposti delle due metà di una calamita, è assolutamente generale. Essa si manifesta sempre invariabilmente, qualunque sia il modo di elettrizza-

Fig. 180. — Esperimenti sulla conducibilità elettrica del corpo umano. (Fac-simile dell'incisione del *Saggio sull'elettricità dei corpi*, dell'abate Nollet, edizione del 1746).

zione impiegato, eccettuando, ben inteso, l'elettrizzazione per contatto o per conducibilità, che sono elettrizzazioni indirette.

Arrivati a questo punto è necessario di gettare uno sguardo retrospettivo e di compendiare in alcune proposizioni ben chiare e che fa mestieri aver sempre presenti alla memoria, i risultati acquisiti.

I. — *Tutti i corpi, senza distinzione veruna, quando vengono strofinati si elettrizzano, e dimostrano la loro elettrizzazione mediante*

Milano. — Tip. dello Stab. di E. Sonzogno. — Si pubblicano due dispense alla settimana. — Ogni dispensa Cent. 10.

le attrazioni o le repulsioni che esercitano, coi bagliori nei quali si avvolgono nell'oscurità, come pure colle scintille svariate che se ne possono estrarre avvicinando loro un altro corpo.

II. — *Più un corpo conserva l'elettrizzazione nel punto stesso ove lo strofinamento l'ha sviluppata, più è* isolante; *per converso, quanto più rapidamente la proprietà elettrica invade una parte più grande del corpo e tanto più esso è* conduttore.

III. — *Vi sono due specie di elettrizzazione, e due soltanto, che si manifestano con azioni esterne antagoniste, e che sono tali, che due corpi dotati della medesima elettrizzazione si respingono, mentre due corpi dotati di elettrizzazioni contrarie si attraggono.*

IV. — *Due corpi strofinati l'uno contro l'altro assumono elettrizzazioni diverse; e quelle due elettrizzazioni sono equivalenti, nel senso che i due corpi mantenuti a contatto sono privi di azione sui corpi leggieri vicini.*

V. — *L'elettrizzazione sviluppata è temporaria; essa si disperde con maggiore o minore celerità* (1).

Fa d'uopo chiarire il come sia possibile a chiunque dimostrare agevolmente i fatti sopra enunciati.

Per tale scopo non è per nulla necessario di ricorrere agli apparecchi eleganti e dispendiosi che si ammirano nei laboratorii di fisica o nelle mostre dei costruttori. Si può costruire da sè e presto la massima parte degli apparecchi indispensabili usufruendo di oggetti che si hanno sempre sotto mano.

Coloro che si appassionano per la scienza e che desiderano vedere coi proprii occhi le cose delle quali loro si parla, devono condurre le prove con molto metodo e molta pazienza. Un tentativo infruttuoso non deve essere origine di scoraggiamento; in queste cose l'ostinazione è arra sicura di vittoria. Con un po' d'applicazione si diviene in breve valenti, e nulla uguaglia la gioja che inonda l'animo quando si sa costringere la natura, spesso taciturna e restìa, a rispondere alle domande che le si fanno.

Un osservatore deve sempre essere sincero, vale a dire deve prestare attenzione a tutte le particolarità dei fenomeni, e nulla trascurare di ciò che vi si trova, nulla metterci di ciò che non vi si trova.

Qualunque genere di ricerche, come qualunque mestiere, esige utensili, apparecchi speciali. Quali sono quelli a noi necessarii? Come dovremo procedere nel farne uso?

Noi ci accingiamo a spiegarlo con particolari che potranno sembrare superflui, ma che stimiamo necessarii, poichè vogliamo evitare a tutti le noje e le difficoltà dei primi principii.

Tuttavia giova notare che le disposizioni che noi indicheremo nulla hanno di assoluto, che possono essere modificate da ogni sperimentatore a seconda delle inspirazioni sue proprie. Nondimeno sarà da saggi seguirle nelle prime prove.

Un'ultima ed importante avvertenza: *Tutti gli esperimenti che se-*

---

(1) Questa dispersione è talfiata lentissima. William Thomson potè conservare per anni interi l'elettrizzazione nell'interno di ampolle di vetro ermeticamente chiuse.

guono non devono essere tentati che in tempo asciutto e con oggetti ben asciutti.

In primo luogo fa d'uopo verificare se è vero che dopo lo strofinamento i corpi godono la singolare prerogativa di attirare a sè pezzettini di carta, capelli, barbe di penna, festuche di paglia, ecc.

A tal fine si piglia un bastone di ceralacca ed un pezzo di stoffa di lana — panno o flanella piegato a più doppii — poi si strofina leggiermente e con vivacità la cera colla stoffa. Dopo alcune frizioni basta avvicinare il bastone di ceralacca a corpi leggieri quali che siano per vederli precipitarsi sopra di esso.

L'esperienza riesce altrettanto bene sostituendo al bastone di ceralacca un'asta od un tubo di vetro, un cilindro di solfo, di carta, ecc.

In luogo di corpuscoli leggieri si ponno attrarre goccioline liquide presentando, per esempio, il corpo strofinato ad un po' d'olio versato

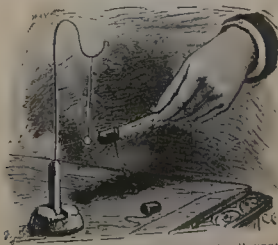



Fig. 190. — Esperimento di Faraday: le due elettricità si sviluppano simultaneamente.

in un piattello (fig. 191) od anche attrarre le particelle che costituiscono il fumo.

Strofinando una verga di metallo, come si fece colla ceralacca, la verga non acquista punto la proprietà attrattiva.

A questo esperimento di attrazione si possono dare forme dilettevoli che si ponno ideare senza fatica.

A titolo di esempio ne indicheremo due:

La *Colomba d'Archita* (figura del 3.° esperimento) e la *Danza dei forzati* (figura dell'8° esperimento).

Ma prima di tutto fa d'uopo imparare come si comunichi ad un foglio di carta la virtù attrattiva.

Si sceglie un mezzo foglio di carta *écolier* un po' sostenuta, lo si scalda al fuoco del caminetto per levargli l'umidità.

Quando è ancor caldo, lo si applica sopra un tavolo e lo si strofina colla mano asciutta facendola scorrere un certo numero di volte, dal margine del foglio più vicino allo sperimentatore al margine opposto.

Se si leva il foglio così preparato e lo si presenta ad una colomba di carta, attaccata all'estremità di un filo, del quale si ha in mano l'altra estremità, essa immediatamente spicca il suo volo dirigendosi verso la carta, e vi si precipiterebbe sopra se il filo non la trattenesse. La colomba segue tutti i movimenti che si imprimono al

foglio di carta, precisamente come se vi fosse attaccata da un cordone invisibile.

Abbiam dato a questo esperimento il nome di « Colomba di Archita » in memoria di un'esperienza analoga che si può fare mediante una calamita e della quale parla il P. Atanasio Kircher nella sua opera *La calamita, o dell'arte magnetica* (1).

Dopo aver descritto parecchi esperimenti fatti con calamite, il P. Kircher arriva al problema X che intitola: *La colomba di Archita che vola nell'aria ed indica le ore.*

« Ci rimane a mostrare, scrive il dotto gesuita, come sia possibile imprimere un movimento progressivo alle cose sospese nell'aria mediante la calamita, e, prima di tutto, facciamo l'esperienza della « Colomba volante d'Archita » (2) sì spesso messa in dubbio dagli autori.

Fig. 161. — Attrazione delle goccioline liquide.

« Siasi preparato anzi tutto un quadro della forma che vedete in

(1) Atanasio Kircher, fisico, matematico, filologo, nato a Geysaw (Assia) nel 1602, morto a Roma nel 1680, scrisse su tutte le materie dello scibile umano alla sua epoca; a lui si devono, fra le altre opere: *La grande Arte della Luce e dell'Ombra* (1645) ove, come abbiamo già detto, descrive la Lanterna magica; *Il Regno magnetico della Natura*, ove si studia di spiegare tutti i fenomeni per mezzo del magnetismo; l'*Obelisco Panfilio* (Roma 1650) e l'*Edipo egizio* ove spiega il senso dei geroglifici; *Il mondo sotterraneo*; l'*Aritmelologia ovvero i Misteri sacri dei numeri* (1665).

(2) Archita, filosofo pitagorico, nato a Taranto 440 prima dell'era volgare, morto nel 360 in un naufragio sulle coste della Puglia, contemporaneo ed amico di Platone, filosofo e generale, chiamato sette volte dai suoi concittadini a capo del governo. Lo si crede l'inventore della vite, della puleggia, delle [illegible] e di parecchie scoperte in geometria, celebre nell'antichità per la costruzione della sua *Colomba volante*. Autore di molte opere delle quali a noi non pervennero che frammenti. Orazio dedicò un'ode al ricordo della morte di lui.

A B C D (fig. 195), quadro che coprirete per di dietro con una lamina sottilissima di bronzo o di rame; verso il suo mezzo piantate un piccolo disco (sul quale sono segnate le ore), su quel disco e sull'orlo assicurate una calamita, e munite quel disco di un cordone, ma in modo occulto e nascosto, allo scopo di poter ora farlo girare, ora obbligarlo a fermarsi. Questo congegno non è espresso sulla figura. Inoltre, elevate nella parte bassa del quadro una piccola montagnola artificiale *G E;* alla sommità di quella montagna collocate una figurina *H*, che io chiamo Archita, formata di materia assai leggiera, di carta o di un gambo di canna secco; infilatela in un ago affinchè possa girare al menomo soffio.

Fig. 192. — Elettroscopio a paglia.

« Ciò fatto, costruite una colomba della medesima materia leggiera ed attraversatela in lunghezza con un ago d'acciajo. Preparato poscia un filo di canape, di seta, d'aloe o di lino, in tutti i casi ben sottile perchè inganni la vista, ed attaccatene uno dei capi alla coda della colomba e l'altro capo alla mano di Archita. Alzate poi la colomba sino a che la sentiate attratta dalla calamita fissata dietro il disco.

« Al presente, se voi desiderate far ammirare lo spettacolo della colomba volante, fate girare il disco munito della sua calamita. Questo, girando, fa girare con sè la tremolante colomba che pare portata dal desio di afferrare qualche cosa. Ed anche, mentre la colomba è attratta e gira, fate roteare nel suo perno la figura di Archita. Così sembrerà che la colomba voli per l'aria e che Archita guidi il suo volo. »

Kircher termina con alcune considerazioni sul congegno dell'esperimento ed aggiunge essere necessaria per tradurlo in fatto una calamita

di gran forza (per la sua epoca): « Io non ne ho veduta che una sola di questa sorta, dice l'autore; essa teneva sospeso un ago quasi alla distanza di quattro dita. »

Noi abbiamo, come si è veduto, trovato un metodo ben semplice per riprodurre l'esperimento complicato di Archita fatto rivivere da Atanasio Kircher (1).

La « Danza dei Forzati » si traduce in atto sostituendo alla colomba alcuni fantocci di carta che si trovano attaccati alla tavola sulla quale sono collocati da piccole palle che portano ai piedi (un filo ed un pallino di piombo). Imprimendo al foglio movimenti capricciosamente ritmici, si vedono i fantocci danzare assieme con mosse imprevedute e bizzarre.

Senza dubbio tali esperimenti non possono avere lunga durata. È necessario ripetere ogni momento la strofinatura del foglio di carta. Infatti si riconosce sempre una *dispersione* più o meno rapida della virtù attrattiva (2).

Secondo il vocabolo usato, si dice che i corpi che godono la proprietà di attrarre i corpuscoli leggieri *sono elettrizzati* o *carichi di elettricità.* Ma fa d'uopo notare che con ciò si accenna ad un fatto senza spiegarlo.

I corpi vengon chiamati *neutri o naturali* se non possiedono la facoltà di attrazione.

Qualunque corpo leggiero assettato in guisa da indicare se il corpo che gli si presenta è naturale od elettrizzato si chiama *elettroscopio.*

La Colomba d'Archita, i Forzati, sono elettroscopii. Noi ne dobbiam stabilire altri più comodi e più diffusi.

Prendiamo prima di tutto l'*elettroscopio a paglia.* Si sceglie una bella paglia lunga da 15 a 20 centimetri *p p*. Si prende d'altra parte un pezzetto di paglia che abbia un nodo *n*, e lo si attacca per quel nodo e per mezzo di un po' di ceralacca nel mezzo di *p p* (fig. 192).

Il sistema riposa sulla testa di un ago *a* piantato in un sostegno. Quello della figura 192 è formato con un pezzo di ceralacca *c*, ed attaccato per l'azione del calore sopra il fondo di un bicchiere *v*. Per piantare l'ago nel sostegno, se ne scalda la punta, la cera si rammollisce e lascia penetrare l'ago che dopo raffreddato si trova solidamente infisso.

Un corpo *neutro* è quello che non esercita sulla paglia azione di sorta. Un *corpo elettrizzato* per converso la fa girare sul suo perno.

Facendo fuggire il corpo elettrizzato dinanzi alla paglia che ne cerca il contatto, essa assume un movimento continuo di rotazione precisamente come se la si facesse movere direttamente per mezzo di una manovella.

Si chiama *pendolo* (3) qualsiasi sistema formato da un corpo sospeso ad un filo, ad un'asta.

---

(1) La figura 106 è la riproduzione fotografica dell'incisione che vedesi nell'edizione di Roma del 1654. La scritta dimostra che Atanasio Kircher si faceva una gloria di questo suo lavoro.

(2) Gli esperimenti sono analoghi a quelli indicati nei varii trattati di fisica sotto il nome di *Gragnuola elettrica, Danza dei fantocci*, ecc., che si effettuano per mezzo di macchine elettriche.

(3) Pendolo, dal latino *pendere*: essere sospeso.

Ciò spiega il perchè si dia il nome di *Pendolo elettrico* ad un elettroscopio formato da un corpo leggiero — ordinariamente si sceglie una piccola palla *b* fatta con midollo di sambuco — sospeso all'estremità di un filo di seta. Noi attacchiamo quel filo *s* (fig. 193) all'estremità ricurva di un filo di ferro *f* del quale abbiamo cacciato l'estremità inferiore in un bastone di cera *c;* quel bastone può essere fissato sul fondo di un bicchiere, o mantenuto in un intaglio praticato sopra un largo tappo di sughero *l*. Sospendendo due palle simili in guisa che sieno a contatto, si ha un pendolo elettrico doppio; le palle venendo a contatto con un corpo elettrizzato si caricano nel modo stesso e quindi si respingono.

Se l'elettroscopio indica che due corpi sono l'uno neutro e l'altro

Fig. 193. — Pendolo elettrico.

elettrizzato, che cosa avverrà quando quei due corpi verranno avvicinati l'uno all'altro?

Se il corpo neutro è mobile e molto leggiero, si sa da quanto precede che tenderà ad avvicinarsi sempre più al corpo elettrizzato, ma per converso, come riconobbe Roberto Boyle (1) se il corpo elettrizzato è mobile sarà questo che andrà verso il corpo neutro.

Se tutti e due possono moversi, corrono l'un verso l'altro ad incontrarsi.

(1) Roberto Boyle, fisico e chimico, nato a Lismore (Irlanda) nel 1626, morto a Londra nel 1691; fu egli che introdusse nella scienza la voce *electricitas* - elettricità: infatti una delle sue opere porta per titolo *de mechanica electricitatis productione* (Della produzione meccanica dell'*elettricità*); questo vocabolo sino allora era stato poco impiegato, quantunque sembri che sia stato creato da Guglielmo Gilbert.

L'attrazione dei corpi elettrizzati da parte dei corpi neutri la si verifica agevolmente. Si avvicini un foglio di carta elettrizzato ad un tavolo, ad una parete, e lo si vedrà inflettersi dalla parte di quel corpo, e sarà d'uopo di uno sforzo per mantenerlo distante. La paglia elettrizzata dall'*elettroscopio* si comporta precisamente così verso i corpi naturali che le si accostano.

Quest'attrazione si può osservare pur anco collocando una bacchetta elettrizzata di vetro o di cera sopra un sostegno che si lasci spostare dall'influenza di azioni molto deboli. In tali condizioni si vede la bacchetta portarsi verso ogni corpo naturale che le vien presentato.

Un sostegno adatto per tale esperimento lo si costruisce senza difficoltà (fig. 194) piantando le due punte di una forcina da capelli *c* in

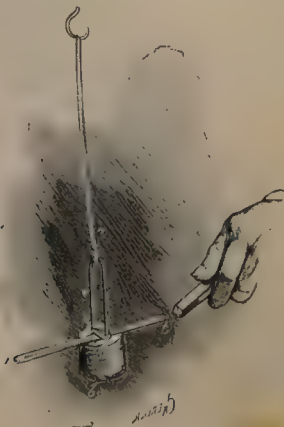



Fig. 194. — Sostegno mobile; attrazione.

un turacciolo *b*. La forcina è essa stessa portata da un filo o da uno stretto nastro di seta *r*. Un anellino di cauciù *c* consente che si assoggetti solidamente la bacchetta elettrizzata sul turacciolo.

Senza dubbio, in codeste esperienze, è sempre il corpo elettrizzato che è la causa prima, la causa determinante del movimento, poichè senza di esso tutto rimane in quiete, ma l'attrazione non è punto localizzata nel corpo elettrizzato. Il sistema tutto intero tende a prendere una disposizione nuova, compatibile colla presenza del corpo elettrizzato, e tutte le parti mobili del sistema si spostano più o meno.

In una parola, quei movimenti elettrici obbediscono, come tutti gli altri movimenti, al principio dell'azione e della reazione.

Un corpo elettrizzato comunica la sua proprietà ai corpi naturali che tocca.

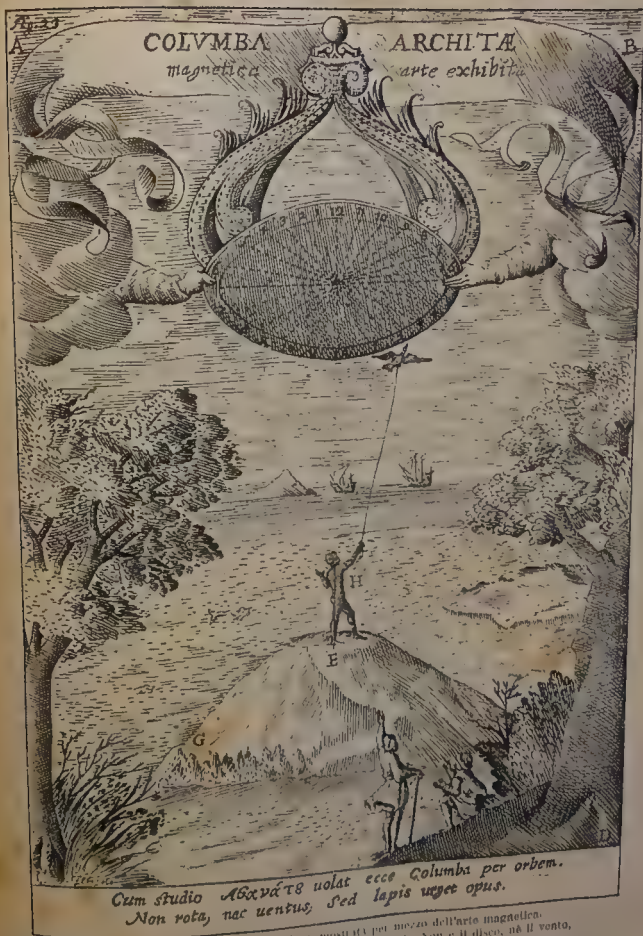



Fig. 195. — La colomba di Archita, mostrata per mezzo dell'arte magnetica.
« Mercè Atanasio ecco la colomba che vola circolarmente. Non è il disco, nè il vento, ma la calamita che fa la sua opera. »
(Fac-simile della incisione dell'*Arte magnetica*, per Atanasio Kircher.)

Gli è perciò che se quel corpo viene messo a contatto colla palla di un pendolo elettrico, questa diventa capace di attrarre la paglia dell'elettroscopio, o d'essere attratta dalla paglia.

Come era già stato notato per la prima volta da Ottone di Guericke, un corpo sufficientemente leggiero si allontana da un corpo elettrizzato dopo averlo toccato. Si può accertarsene in molte maniere.

Indichiamo prima d'ogni altro l'esperimento dei *projettili elettrici* (figura del 9.° esperimento).

Sopra un foglio di carta elettrizzato nel modo già indicato, si mettono pezzettini di carta, cenere pallottole di sambuco, ecc. Dopo il loro contatto col foglio, quando lo si stacca, quando lo si leva dal tavolo, quei corpi vengono projettati repentinamente lontano.

Si può altresì notare che la palla del pendolo o la palla dell'*elettroscopio* vengono respinte dopo essersi elettrizzate per contatto (1).

La *ripulsione dopo il contatto* si manifesta molto meglio quando con un mezzo qualunque il corpo elettrizzato, in luogo di rimanere a contatto col corpo che ha toccato, viene a mettersi ad una piccola distanza da esso. Si evita così una specie di aderenza che turba il fenomeno.

Noi possediamo dunque già due mezzi per elettrizzare un corpo:

1.° L'elettrizzazione può essere determinata per *strofinamento*.

2.° L'elettrizzazione può essere determinata mediante il *contatto di un corpo previamente strofinato*.

I corpi precedentemente elettrizzati sono *isolanti* (2).

Infatti essi conservano la proprietà attrattiva nel punto della loro superficie ove quella fu sviluppata. Quella proprietà attrattiva non invade che più o meno lentamente le regioni vicine.

QUADRO I.

Corpi isolanti usuali classificati in ordine di isolamento crescente.

Lana.	*Guttaperca.*
Seta.	*Cauciù (gomma elastica).*
Vetro.	*Gommalacca.*
Ceralacca.	*Paraffina.*
Solfo.	*Ebonite.*
Resina.	*Aria secca* (in certe condizioni).

Impariamo ora a conoscere un'altra categoria di corpi, quelli che si chiamano *corpi conduttori* per opposizione ai precedenti: infatti essi conducono, in un tempo straordinariamente breve, in tutti i punti della loro superficie l'elettrizzazione prodotta sopra una delle loro parti.

Prendiamo un regolo sottile o piatto di legno (fig. 196) e poniamolo sopra due bastoni di ceralacca disposti a piatto o formanti sostegno, poi tocchiamo una delle estremità del regolo con un corpo elettrizzato. Vedremo di subito l'elettroscopio a paglia ed il pendolo indicare coi loro movimenti che tutti i punti del regolo da un capo all'altro sono elettrizzati.

(1) Le due palle di un pendolo doppio rimangono distanti per tutto il tempo che perdura l'elettrizzazione.

(2) *Isolante*, dal latino *insula* isola, ed *insulatus* separato dalle parti vicine, messo in parte.

Una lunga matita da falegname, un'asta di metallo, un frutto allungato, ecc., si comporteranno nella medesima guisa; un corpo isolante, per esempio una bacchetta di vetro, agisce come conduttore *se la sua superficie è umida*, e ciò ha luogo sempre per i corpi igrometrici (1) quindi le esperienze non si devono fare che con oggetti bene asciutti.

Il corpo umano, i corpi degli animali, la terra, sono parimente buoni conduttori. Se sopra un corpo isolante, per esempio un tubo di vetro (figura del 10.° esperimento), vien posto un uccello, basta toccargli il becco con un corpo elettrizzato per vedere gli oggetti leggieri avvicinarsi alla sua coda ed alle diverse parti del suo corpo. Si può eseguire il medesimo esperimento con un cane accovacciato sopra un cuscino di seta.

Se l'uccello fosse posto direttamente sul suolo o sulla mano dello sperimentatore non si potrebbe più elettrizzarlo. Ciò si capisce senza difficoltà, come già fu detto, ove si consideri che in tal caso non si ha più da elettrizzare il solo uccello, ma questo, il corpo umano e la terra che formano col loro assieme un immenso conduttore. L'elettrizzazione dell'uccello così ripartita diviene inapprezzabile.

Questa ragione spiega anche il perchè non sia possibile di elettrizzare per strofinamento un'asta di metallo che si tiene in mano.

Essa, per converso, si elettrizza, come qualunque altro corpo, se la si tiene impugnata per un manico isolante di ceralacca, di vetro asciutto, ecc.

L'isolante, infatti, impedisce che l'elettrizzazione si comunichi al corpo dello sperimentatore, poi alla terra. Non vi è nessuna difficoltà a verificare queste affermazioni.

QUADRO II.

Corpi conduttori usuali.	Corpi semi-conduttori.
Argento.	*Carbone di legno.*
Rame.	*Coke.*
Oro.	*Acidi.*
Zinco.	*Dissoluzioni saline.*
Platino.	*Acqua di mare.*
Ferro.	*Aria rarefatta.*
Stagno.	*Ghiaccio che si fonde.*
Piombo.	*Legno secco.*
Mercurio.	*Carta asciutta.*
Corpo umano e degli animali.	
La Terra.	

Ma arriviamo al *contrasto elettrico* o doppia elettrizzazione. Per ripetere le esperienze di Du Fay, strofinate un bastone di vetro ben asciutto e levigato con un panno o colla flanella, poi elettrizzate per contatto la paglia ed il pendolo del vostro elettroscopio. Elettrizzate pure, strofinandolo con un *altro* pezzo di panno o di flanella, un bastone di ceralacca o di resina.

(1) I corpi *igrometrici* sono quelli che assorbono facilmente l'umidità (dal greco ὑγρός (ugros): umido e μέτρον (metron) misura). Fu Du Fay quello che per il primo richiamò l'attenzione sull'influenza dell'umidità; egli potè ripetere gli esperimenti di Gray e condurre l'elettrizzazione del tubo strofinato alla distanza di circa 400 metri, prendendo una corda di canape inzuppata d'acqua.

La paglia elettrizzata per contatto col vetro sarà da esso respinta. Per lo contrario verrà attratta dal bastone di ceralacca.

Così la stessa paglia messa nelle medesime condizioni è attratta dalla ceralacca e respinta dal vetro.

Si esprime quel contrasto presentato dall'esperimento col dire che il vetro e la ceralacca strofinati con panno o flanella prendono un'elettrizzazione opposta: quella del vetro liscio strofinato con una stoffa di lana vien detta *elettrizzazione positiva*, e quella della ceralacca, pure strofinata con una stoffa di lana, *elettrizzazione negativa*.

Variando le condizioni dell'esperienza, si vede che ogni corpo si com-

Fig. 106. — Esperimento sulla conducibilità elettrica.

porta sempre sia come il vetro, sia come la ceralacca o resina (infatti è noto che la ceralacca è un composto di sostanze resinose). Esso è *positivo* o *negativo* a seconda dei casi. Per determinare il « segno di un corpo elettrizzato » farà d'uopo sempre paragonare i suoi effetti a quelli del vetro levigato o della ceralacca strofinati con una stoffa di lana.

Quelle due elettrizzazioni si sviluppano simultaneamente.

Infatti, dopo aver elettrizzato un bastone di ceralacca, operando come si è detto, avviciniamolo ad un elettroscopio. Se si tratta dell'elettroscopio a paglia, questa è da prima attratta, si elettrizza al contatto della cera, poi viene respinta. Se alla ceralacca si sostituisce il pezzo di flanella che servì per strofinare, la paglia è attratta, e se si evita che arrivi a toccare la flanella viene di nuovo respinta quando le si presenta la ceralacca.

La ceralacca assume l'*elettrizzazione negativa*, lo strofinatore l'*elettrizzazione positiva*.

QUADRO III.

Lista dei corpi usuali disposti in tale ordine che strofinati a due a due, quello che si incontra primo nella lista diviene positivo, mentre l'altro diviene negativo.

Vetro levigato.
Stoffe di lana.
Piume.
Legno.
Carta.
Seta.
Gommalacca.
Resine.
Vetro smerigliato.
Solfo.
Metalli.
Caucciù.
Guttaperca.

Rimangono da verificarsi il *crepitio ed il fuoco elettrico*.

A tale intento elettrizzate un foglio di carta bianca, come fu già in-

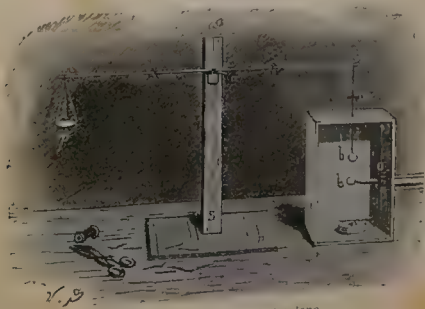



Fig. 197. — Misura di un'attrazione.

segnato, e presentate nel bujo a quel foglio un dito od un corpo qualunque, vedrete scaturire di subito un fuoco che assume forme svariate e va dal foglio al corpo (figura del 2.° esperimento), in pari tempo si farà udire un crepitio caratteristico; dopo la comparsa del fuoco, il foglio non è più elettrizzato, e si dice che il fuoco elettrico o la scintilla lo ha scaricato.

In questa guisa ponno essere tradotte in atto da tutti le esperienze delle quali tracciammo la storia, e che tennero occupati per più di un secolo gli scienziati di tutti i paesi.

È bene sapere che i mezzi più semplici sono sempre i migliori ed i più dimostrativi. Avendo veduto le cose le si apprezzano in modo più giusto e più sano, e non si corre pericolo di fabbricare nella propria imaginazione dei castelli in aria, cosa che succede frequentemente in materia di elettricità.

Le attrazioni, le ripulsioni, lo scoppiettio ed il fuoco elettrico sono altrettanto manifestazioni *attuali* o *cinetiche* dell'energia *elettrica potenziale* sviluppata sul corpo dallo strofinamento.

Ora, come si farà per sviluppare più facilmente ed in quantità maggiore questa forma di *energia potenziale?*

Coll'uso delle *macchine* dette *elettriche*.

Ma prima di addentrarci in questo argomento, vediamo se è possibile di trar partito dai fenomeni di attrazione e di ripulsione, per apprendere a misurare, *a pesare*, *l'elettrizzazione* o la *carica elettrica* dei corpi di piccola mole, ben inteso senza preoccuparci della natura intima ed incognita di quella carica.

Valutiamo, per incominciare, l'attrazione di due palle di sambuco superficialmente metallizzate, per esempio, per mezzo di un frammento di foglia d'oro delle quali una b è allo stato neutro, l'altra b' è elettrizzata.

A tal uopo fa mestiere preparare una bilancia delicatissima ed un insieme di tre piccoli pesi, giacchè la prima idea che si presenta è quella di equilibrare con pesi l'azione elettrica delle due palle.

Nel mezzo di un'assicella P (fig. 197) si pianterà un'asta di legno verticale $S\,S$ che porti presso alla cima un sottil ago orizzontale a. $P\,S\,S$ è il sostegno della bilancia, l'ago a ne è l'asse o perno.

Dopo ciò si sceglierà una paglia robusta, o, se si desidera una solidità maggiore, un'asta di legno ben regolare, lunga e leggiera, nel mezzo della quale si praticherà un forellino circolare e preciso, mercè il quale si infilerà l'asta $A\,B$ sull'ago a. Quell'asta, che può girare colla massima facilità intorno all'ago a, si chiama giogo della bilancia. All'estremità A del detto giogo si sospende un piatto p, ottenuto tagliando un disco in un foglio di carta, poi facendo passare per tre forellini equidistanti, praticati sul contorno del disco di carta, tre fili fini eguali in lunghezza e trattenuti da piccoli nodi. L'altra estremità dei tre fili è attaccata in A.

In B si sospende per un filo od una paglia, od anche con un sostegno rigido, la palla di sughero che ci siam proposti di attrarre.

Per mettere la bilancia in equilibrio, vale a dire per condurre il giogo in una posizione ben orizzontale, si preparano piccole striscie di carta che si piegano in due c e si mettono a cavaliere sul giogo in punti opportuni che si cercano o si determinano per tentativi.

Quei pezzetti di carta si chiamano cavalieri.

Per garantire la stabilità dell'equilibrio, è necessario attaccare perpendicolarmente al giogo e sotto al perno a un pezzetto di legno relativamente pesante.

D'altra parte è facile procurarsi pesi eguali e leggieri tagliando da un filo fine e regolare, e del quale si conosce il peso totale, piccoli brani egualmente lunghi.

Variando opportunamente quelle lunghezze, si potrà prepararsi una cassetta da pesi perfettamente appropriata allo scopo particolare che abbiamo in mira di raggiungere.

Per terminare questi preparativi, mettiamo al di sotto di B un vaso, una cassetta qualsiasi, nella cui faccia superiore è praticato un forellino che apre l'adito al filo di sospensione della palla b; a quel filo è attaccata una piccola paglia e, più lunga che non sia il diametro del forellino, la quale impedisce che la palla b discenda troppo in basso. Di più, il vaso o la cassetta è pure munito di un'apertura laterale o, dalla quale si introduce la palla di sughero elettrizzata b', infilata sul-

l'estremità del bastone di ceralacca affilato. Un dischetto di sughero infilato su quel bastone serve a mantenerlo saldo nell'orificio o, e se ne regola la distanza dalla palla b' in guisa che essendo il bastone nell'orificio, le palle b e b' si trovino esattamente sulla medesima verticale.

Sul piano inferiore della cassetta si pongono sostanze essiccanti (calce viva, cloruro di calcio od acido solforico), in guisa che l'aria della cassetta sia perfettamente secca. Così si diminuisce di molto la dispersione, e con un po' di pratica e di abilità, si ha tempo sufficiente per procedere alla misura.

Introdotta che si abbia la palla elettrizzata b', la palla b viene attratta e si precipiterebbe su b' se non ci fosse il fermo e.

Si ristabilisce l'equilibrio della bilancia deponendo, per mezzo di una pinzetta, i pezzetti di filo che costituiscono i pesi nel piatto p.

La somma dei pesi necessarii per ristabilire l'equilibrio misura l'at-

Fig. 198. — Misura di una ripulsione.

trazione. Più rigorosamente: quell'attrazione è misurata dai fili che si dovrebbero mettere su b, dopo tolto via b', per mantenere l'equilibrio.

Se si tratta di valutare una ripulsione, la bilancia precedente non può più servire, attesochè la ripulsione ed i pesi tendono a far girare il giogo nel medesimo senso.

Una leggiera modificazione che vi si introduca, e la difficoltà è superata. Si attaccherà il piatto (fig. 198) ad un filo che partendo da A passi sopra una piccola puleggia r; ed inoltre il sostegno della palla b non dovrà più essere un filo, ma un'asta rigida che supporremo isolante, e l'*arresto* e vien soppresso. Finalmente si curverà la ceralacca come lo indica la figura.

Introdotta che si abbia la palla elettrizzata b', la palla b è attratta, viene a contatto di b', si elettrizza come questa ed allora è respinta; il giogo gira nel senso della freccia 1.

Mettendo dei fili-pesi nel piatto p, si tende invece a far girare il giogo nel senso della freccia 2, e si perviene a dare al giogo la posi-

zione orizzontale. Si misura la ripulsione delle due palle come se ne misura l'attrazione.

Si possono ottenere le misure di attrazione e di repulsione con mezzi meno diretti ma più sensibili ed ai quali i mezzi precedenti servirono di istradamento.

Avendo un filo metallico estremamente fine, lo si avvolgerà intorno ad una verga cilindrica in guisa da formarne una molla R di straordinaria dolcezza (fig. 199).

Si punterà sopra una delle estremità della molla, già prima spalmata di ceralacca, la palla di sughero b; l'altra estremità sarà piantata sul fondo di una cassetta contenente sostanze essiccanti, e la cassetta proteggerà altresì la molla sì delicata contro le correnti d'aria.

Il coperchio della cassetta porta un foro dal quale si introduce la palla elettrizzata b'. Il manico isolante, relativo a questa palla, è trattenuto in un anello che si forma piegando l'estremità di un filo di ferro F;

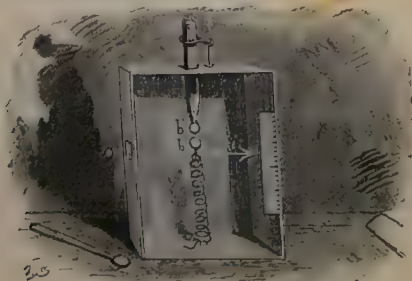



Fig. 199. — Altra misura d'attrazione e di ripulsione.

facendo variare le dimensioni di quell'anello, si potrà avvicinare od allontanare la palla b' dalla palla b.

Introducendo la palla elettrizzata b', b è da prima attratta, viene a contatto con b' prende un'elettrizzazione del medesimo nome, poi è respinta. Un piccolo indice i che si move sopra una graduazione indica la deformazione della molla. Producendo la stessa deformazione per mezzo di un peso, si avrà in peso la misura della ripulsione.

Se essendo le palle b e b' così elettrizzate, si introduce dall'orifizio laterale o una palla identica a b e neutra, si ammette che dopo il contatto la palla b ha perduto metà della sua carica, il che è conforme all'idea di simmetria, attesochè non si concepisce come due palle identiche a contatto non debbano prendere un'elettrizzazione identica, e se si ha cura di fare in modo che anche dopo ristabilito l'equilibrio la distanza fra le due palle sia la medesima di prima, si verifica che la ripulsione è diminuita della metà.

Toccando di nuovo la palla b con un'altra palla neutra ed eguale, la ripulsione scema ancora di metà, vale a dire diventa quattro volte

più debole di quello che era prima che avvenisse il contatto. Ripetendo le medesime operazioni si trova sempre la medesima legge di diminuzione, il che si enuncia come segue: La *ripulsione è proporzionale alla carica della palla b'*. Essa è diretta secondo la retta che congiunge i centri delle due palle prospicienti.

Fig. 200. — La bilancia di Coulomb.

Evidentemente tutto succede in modo identico per la palla *b* che nulla distingue da *b'*.

Se si conservano le cariche e si fa variare la distanza *b b'*, si riconosce che se la distanza *b b'* diventa due volte maggiore, la ripulsione diventa due volte due, cioè quattro volte più debole; se la distanza si triplica, la ripulsione diventa tre volte tre, ossia nove volte più debole, ecc.

Questo fatto si enuncia dicendo che: *La ripulsione che si esercita fra le due palle elettrizzate b e b' non solo è proporzionale alle cariche rispettive delle palle stesse, ma altresì varia in ragione inversa del quadrato della loro distanza.*

Queste sono le due leggi di Coulomb (1) che convengono così alle attrazioni come alle ripulsioni elettriche *elementari*, vale a dire esercitantisi fra piccoli corpi elettrizzati o, per estensione, fra i diversi *elementi*, fra le diverse parti dei corpi elettrizzati di dimensioni quali che sieno.

L'illustre fisico francese non operò coi mezzi da noi sopra indicati,

Fig. 201. — L'elettrizzazione si porta alla superficie dei conduttori

ma si servì di un apparecchio più perfetto. La sua bilancia indiretta era assai più sensibile. Egli equilibrava le attrazioni e le ripulsioni

(1) Carlo Agostino de Coulomb, nato ad Angoulême nel 1736, morto nel 1806, membro dell'Accademia delle Scienze; i suoi lavori sull'attrazione e la ripulsione, sull'attrito, ecc., sono registrati nelle memorie dell'Accademia delle Scienze; nel 1779 egli scrisse un'opera col titolo: *Ricerche sui mezzi di eseguire sott'acqua tutte le specie di lavori idraulici senza bisogno di mettere a secco il luogo del lavoro.*

mediante la torsione di un filo d'argento così fino, che una lunghezza di un metro non giungeva a pesare un centigrammo.

Le attrazioni e le ripulsioni delle palle sono infatti così lievi che per combatterle fa d'uopo poter disporre di torsioni delicatissime.

Questa bilancia, che si spiega da sè stessa, è rappresentata dalla figura 200. Il filo d'argento è sospeso verticalmente in *A* secondo l'asse di un tubo di vetro; porta alla sua parte inferiore un'asta isolante leggiera *G*, le cui estremità sostengono l'una una palla *E* l'altra un contrapeso *F*. La seconda palla *D* viene introdotta da un orifizio, predisposto nel coperchio del vaso di vetro che protegge l'apparecchio, ed è messa a contatto della prima. Si toccano le due palle con un'asta elettrizzata che si fa passare per un foro praticato nel coperchio del vaso; le palle venendo elettrizzate da quel contatto, si respingono e torcono più o meno il filo d'argento che reagisce. Si legge l'angolo di deviazione sulla lista di carta graduata *HH*. Si comprende come uno studio della torsione del filo determinata per mezzo di un peso e fatto prima di intraprendere gli esperimenti, permetta di esprimere in peso l'azione elettrica. La grande difficoltà degli esperimenti proviene dalla dispersione rapida della elettrizzazione, che fa variare tutto ad ogni istante.

Ma torniamo all'esperimento della bilancia a molla ed indichiamo come si definisce l'*unità di carica elettrica*.

Se le palle *b* e *b'* supposte identiche e cariche in egual dose in forza del loro contatto sono in equilibrio alla distanza di un centimetro l'una dall'altra, esse possiedono, per definizione, l'*unità di carica* allorchè, dopo tolta *b*, fa mestieri mettere sulla molla una dina (1) per mantenerla nel suo stato di tensione.

Se la carica di un corpo può comunicare l'*unità di carica* a 20, 30, ecc. palle identiche, come *b* e *b'*, si dice che si ha una carica misurata dai numeri 20, 30, ecc.

Possedendo ora il mezzo di paragonare le cariche prese da una piccola palla *b'*, o da un picciol dischetto metallico montato come quella, e chiamato *piano di prova*, è agevole dimostrare: che la carica sopra un conduttore *è tanto più forte in un punto determinato della superficie quanto più acuminata è la regione cui appartiene quel punto*; essa si accumula sugli spigoli, sulle punte; ma sopra una sfera, siccome nulla distingue un punto dall'altro, la carica è ovunque la stessa, la distribuzione è uniforme.

Verifichiamo da prima che se un *corpo conduttore* vuoto è elettrizzato, sulle pareti della cavità non vi ha carica; in altre parole: *la carica elettrica si porta alla superficie esterna del corpo conduttore*. A tal fine si elettrizza un corpo conduttore vuoto isolato *C* (fig. 201), poi si toccano le pareti della cavità colla palla *b'*. Portandola poscia sulla bilancia o presentandola ad un elettroscopio, non si osserva movimento di sorta.

Si può anche sospendere un conduttore *C'* (fig. 201) pieno ed elet-

(1) La dina vale $1^{mmg},01$... la sua definizione sarà spiegata più innanzi. Quel limite di carica serve a misurare le cariche nella maniera stessa che il metro serve a misurare le lunghezze. Se la carica è positiva, si mette dinanzi al numero che la misura il segno +, e il segno — se è negativa. In tutti i fenomeni, dopo la descrizione pura e semplice, la misura è indispensabile, perchè si è tanto più prossimi a conoscere bene un fenomeno quanto meglio si sanno esprimere le circostanze in numeri.

trizzato a un filo isolante, poi coprirlo con due emisferi metallici vuoti *H H*, muniti di manico isolante. Se si separano gli emisferi dopo di aver loro fatto toccare il conduttore che racchiudono, si verifica che i due emisferi sono elettrizzati, mentre il corpo *C* è neutro: la carica di *C* si è dunque portata tutta alla superficie.

Una rete da pigliare farfalle elettrizzata ed isolata (fig. 202), viene toccata col piano di prova nell'interno, poi in una seconda operazione, all'esterno. Il piano indica elettrizzazione solo per l'esterno; se poi, per mezzo di un filo di seta si rovescia la rete, si verifica col piano di prova che il di dentro della rete (che poc'anzi era il di fuori) non è più elettrizzato e che l'elettrizzazione si è portata sulla nuova superficie esterna.

Fig. 202
Rete da farfalle elettrizzata.

Se dopo aver elettrizzato una striscia di stagno attaccata per un'estremità ad un bastone di vetro, si rotola la striscia sul bastone, facendo girare il bastone sopra sè stesso, si diminuisce la superficie, la carica si porta sulla superficie residua, il che fa deviare sempre più le due palle di sambuco, sospese vicinissime l'una all'altra, all'estremità libera.

Si può eseguire un esperimento identico sostituendo una catena metallica alla striscia di stagno. Ordinariamente si depone la catena sopra un piatto conduttore isolato al quale è fissato un *pendolo doppio* (fig. 203). Sollevando la catena con una bacchetta di vetro, si aumenta la superficie del conduttore, da ciò una nuova distribuzione della carica che rende minore la ripulsione dei due pendoli. Per converso, quella ripulsione aumenta quando si lascia che la catena si pieghi sopra sè stessa, cosa che diminuisce la superficie della totalità delle parti che vengono a toccarsi.

Fig. 203.
Pendolo doppio.

Codesta distribuzione elettrica alla superficie dei corpi *conduttori*, (nei corpi isolanti l'elettrizzazione rimane nei punti ove fu sviluppata così nell'interno come alla superficie) si effettua sempre, quand'anche il conduttore fosse un traliccio di maglie più o meno fitte. L'esperienza della rete da farfalle, dovuta a Faraday, lo ha già dimostrato.

Prendiamo anche un canestro da insalata fatto di fili di ferro (fig. 204) e isolato; sospendiamo nell'interno e all'esterno di quel canestro delle piccole palle di sambuco; colleghiamolo per mezzo di una catena ad una macchina elettrica, e vedremo le palle esterne allontanarsi respinte, mentre le palle interne rimangono immobili.

Faraday ripetè quest'esperienza in grande; ed ecco con quali parole ne ha fatto conoscere i risultati: « Costruii una camera a foggia di cubo da 12 piedi, costituita da una leggiera intelajatura di legno sulla quale erano stati tesi, in lungo e in largo, per dritto e per traverso, e in tutte le direzioni, dei fili di rame, di maniera che le pareti erano trasformate in una graticolata; poi si coprì il tutto con carta messa in comunicazione coi fili e rivestita da ambo le parti con foglia di

stagno, in guisa che il tutto poteva essere messo in buona comunicazione elettrica e costituiva in ciascuna parte un corpo buon conduttore. Quella camera venne isolata nella sala del corso dell'Istituto reale. Io entrai nel cubo, vissi nel suo interno; e non potei, servendomi di candele accese, di elettroscopii atti a scoprire lo stato elettrico, riconoscere la menoma influenza su essi, quantunque durante tutto il tempo il cubo fosse caricato poderosamente e che grandi scintille e grandi pennacchi partissero costantemente da tutti i punti della superficie. »

Queste esperienze dimostrano che la carica elettrica si porta unicamente alla superficie di un *corpo conduttore*; però non si deve cer-

Fig. 201. — Distribuzione dell'elettricità nel caso di un conduttore a maglie.

carla altrove; poco importa del resto che il conduttore sia pieno o cavo. Oltre a ciò, un corpo collocato nella cavità di un conduttore è sottratto all'azione dei corpi elettrizzati che esistono al di fuori. Il conduttore vuoto isolato costituisce dunque una specie di schermo elettrico che protegge i corpi situati nel suo interno dall'azione di quelli che stanno al di fuori.

Per paragonare la carica esistente in due punti della superficie di un corpo elettrizzato, si toccano colla palla b' successivamente, ma ad intervalli molto brevi allo scopo di evitare le dispersioni, e si misura colla bilancia la carica presa dalla palla. Si riconosce agevolmente che quella carica è tanto più forte quanto più acuminata è la regione della superficie dove la si prese. Implicitamente si ammette che il piano di prova prenda cariche uguali, o per lo meno proporzionali a quelle che possiede il conduttore nei punti toccati. Facendo l'esperimento con

una sfera, che è la figura simmetrica per eccellenza, il piano di prova indica in tutti i punti la medesima carica; tal fatto legittima in qualche modo l'ipotesi sopra accennata. Si caratterizza la carica in ogni punto della superficie di un conduttore, vale a dire la distribuzione della carica, per mezzo della *densità elettrica*, la quale per definizione è eguale al quoziente che si ha dividendo la carica che possiede una piccolissima superficie che circonda quel punto per l'estensione di quella superficie.

Fig. 205. — Vasi comunicanti: corrente liquida.

Se due corpi che possiedono la medesima elettricità si respingono, anche i varii elementi elettrizzati della superficie di uno stesso corpo devono respingersi, e ciò deve produrre uno stato di tensione particolare alla superficie del corpo. Infatti se le sue diverse parti sono mobili, si verificano movimenti.

Quando si elettrizza una bolla di sapone la si vede aumentare di

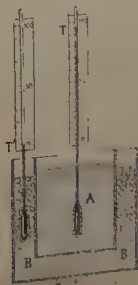



Fig. 206. — Scambio di calore: corrente calorifica.

volume senza cambiare di forma, il che indica che la bolla è tirata verso l'esterno normalmente alla sua superficie e con pari forza in tutti i punti. Le cose succedono precisamente come se aumentasse la pressione dell'aria che gonfia la bolla.

Anche la rete di Faraday si gonfia quando viene elettrizzata.

Il fisico inglese Symmer racconta che le sue calze di seta, quando egli le levava, erano elettrizzate e che in luogo di ricader floscie rimanevano tese e mostravano l'intiera forma della gamba.

Si chiama pressione elettro-statica, od anche *tensione elettrica* in un punto della superficie di un conduttore la ripulsione che tende a trascinare l'elemento del conduttore, che comprende quel punto. Essa è diretta normalmente al *conduttore* e verso l'esterno, ed evidentemente è tanto più grande quanto più forte è la densità elettrica nel punto considerato. Per conseguenza la tensione elettrica è eccessiva sugli spigoli e sulle punte in confronto di quella che è sulle parti piane e sulle porzioni sferiche di grande raggio.

Fa d'uopo ora chiarire una nozione importantissima che regola lo scambio delle cariche fra conduttori che si mettono in comunicazione per mezzo di un filo metallico: questa è la nozione di *potenziale*.

Talune analogie opportunamente scelte varranno a far comprendere il compito del potenziale, o meglio della *differenza di potenziale* che esiste fra due conduttori.

Se due vasi A e B (fig. 205) contengono acqua e se il livello a dell'acqua nel vaso A è più alto del livello b dell'acqua nel vaso B, vi ha efflusso dal vaso A al vaso B, appena che si apre la chiavetta r posta sul tubo di comunicazione.

La corrente dell'acqua va dal vaso A al vaso B e la quantità d'acqua che sgorga è tanto maggiore, quanto più grande è la differenza dei livelli a e b.

Non è già la maggiore o minore quantità di liquido contenuto nei vasi quella che regola l'efflusso, ma unicamente la DIFFERENZA DI LIVELLO: la sorgente più piccola che ci sia manda l'acqua al mare perchè è situata ad un livello più alto del mare.

L'equilibrio, il riposo, si ristabilisce appena che i LIVELLI SONO I MEDESIMI IN AMBO I VASI.

Lo scambio di calore fra due corpi è regolato nella guisa stessa dalla DIFFERENZA DELLA LORO TEMPERATURA. Se due corpi A e B (fig. 206) sono tali che la temperatura indicata dal termometro T sia superiore a quella indicata dal termometro T', vi sarà sempre, non appena i corpi sien messi a contatto, passaggio di calore da A sopra B. Il termometro T si abbasserà, il termometro T' si eleverà, e tutto diverrà stazionario appena che i due termometri segneranno la medesima temperatura.

Abbiansi infine due recipienti R ed R' (fig. 207) contenenti aria e di una forma e di una capacità quale che sia. Due manometri od indicatori di pressione P, P' indicano a quale pressione si trova l'aria dei recipienti. Supponiamo che la pressione nel recipiente R sia più grande che nel recipiente R'.

Aprendo la chiave r posta sul canale di comunicazione da R ad R', si vede subito abbassarsi il manometro P e salire il manometro P'; poi l'immobilità, l'equilibrio stabilirsi appena che i due manometri indicano la medesima pressione, intermedia fra le due pressioni che esistevano prima dell'apertura della chiave.

Durante il periodo di variazione passa aria da R in R'.

Il senso dell'efflusso dell'aria è dunque tale che va dal vaso contenente aria a pressione più alta al vaso contenente aria meno compressa, e l'efflusso cessa appena la pressione regnante in tutto il sistema è la medesima.

È LA DIFFERENZA DELLE PRESSIONI che regola il senso dell'efflusso dell'aria e la quantità d'aria che cambia di recipiente.

Poco monta che R abbia dimensioni più piccole di R', che contenga un peso d'aria minore; se esso possiede la pressione più alta perderà altra aria e l'altro recipiente R' ne conterrà ancora di più.

In elettricità le cose avvengono in maniera consimile, e anche nel caso nostro vi ha un fattore che regola lo scambio delle cariche. Se due corpi elettrizzati, mettiamo positivamente, sono messi in comunicazione per mezzo di un filo (fig. 208) quello che cede parte della propria carica all'altro è al *potenziale più alto* e la perdita di carica di quel corpo C, perdita che è eguale al guadagno di carica del conduttore a potenziale più basso C', è tanto maggiore quanto maggiore è la DIFFERENZA DEL POTENZIALE. L'equilibrio si ristabilisce non appena regni su tutto il sistema il medesimo potenziale.

Se si sposta l'estremità del filo di comunicazione sulla superficie di C, l'*equilibrio si conserva*, cosa che si riconosce dall'immobilità delle

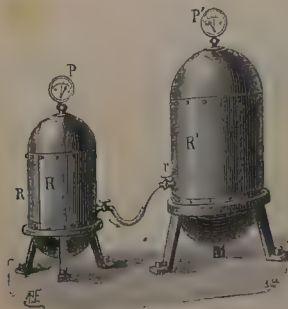



Fig. 207. — Recipienti comunicanti: corrente gasosa.

due paglie dell'elettroscopio C'. La densità elettrica esistente nel punto toccato non ha dunque influenza sullo scambio, come *a priori* si potrebbe supporre.

La carica possiede dunque una qualità sua particolare, nuova, che si dice il suo potenziale.

La medesima quantità d'aria chiusa in recipienti di capacità diverse produce pressioni tanto più deboli quanto più grande è il recipiente. Nel modo stesso una data carica porta un conduttore considerato solo ad un potenziale tanto più basso quanto più estesa è la superficie di quel conduttore. Un conduttore elettrico ha esso pure una capacità elettrica che dipende dalla forma e dalle dimensioni della sua superficie. Una palla grande ha una capacità elettrica più notevole di una palla piccola. Se la carica della palla piccola fosse sulla grande essa vi sarebbe ad un potenziale meno elevato, essa avrebbe minore tendenza ad abbandonare quella palla.

Se il recipiente R' (fig. 207) ha una capacità estremamente grande rispetto a quella del recipiente R, l'aria che passa da R in R' non mo-

difica guari in maniera apprezzabile la pressione P; cioè la pressione preesistente in R'. laonde in tali condizioni si può asserire che se il recipiente R vien messo in comunicazione col recipiente R', la pressione che regna in R diverrà P'.

In elettricità la terra sostiene la medesima parte del recipiente R; qualunque conduttore messo in comunicazione colla terra ne assume il potenziale: e fu convenuto di ritenere quel potenziale come nullo. *Qualsiasi potenziale più alto di quello del suolo è positivo; qualsiasi potenziale più basso è negativo* (1).

Quando i potenziali di diversi conduttori si rendono eguali per la via dei fili di comunicazione, questi si trovano in uno stato di attività speciale: essi sono percorsi da una *corrente elettrica*, come i tubi di comunicazione sono percorsi da correnti d'acqua o d'aria allorchè i livelli e le pressioni si eguagliano.

Il potenziale nello scambio delle cariche fa l'ufficio della pressione nello scambio dell'aria fra i due recipienti ricordati, oppure la parte del livello e della temperatura negli scambii d'acqua o di calore.

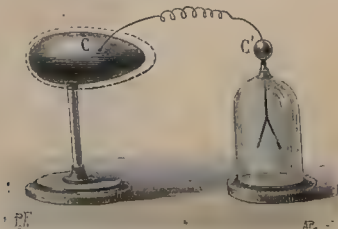



Fig. 208. — Conduttori elettrizzati comunicanti: corrente elettrica.

Quando la differenza delle pressioni che si esercitano sulle due faccie dei recipienti quali R e R' diventa troppo grande, il loro involucro si spezza e il gas ne sfugge.

L'aria che separa due corpi elettrizzati fa l'ufficio stesso di una parete; essa obbliga le due cariche a restare sui loro conduttori rispettivi. Tuttavia se la differenza di potenziale presentata da quei due conduttori diventa sufficientemente *grande, quella parete*, quell'aria è squarciata, scocca una scintilla fra i due conduttori e produce il medesimo risultato che si sarebbe ottenuto se si fosse subitamente posto un filo metallico da un conduttore all'altro. Una tale scarica, che si effettua in virtù della rottura di un isolante, si chiama *scarica distruttiva.*

La distanza che separa due corpi nell'istante che scocca la scintilla

(1) Le differenze di potenziale si misurano per mezzo di apparecchi che si dicono elettrometri e che verranno descritti più innanzi.

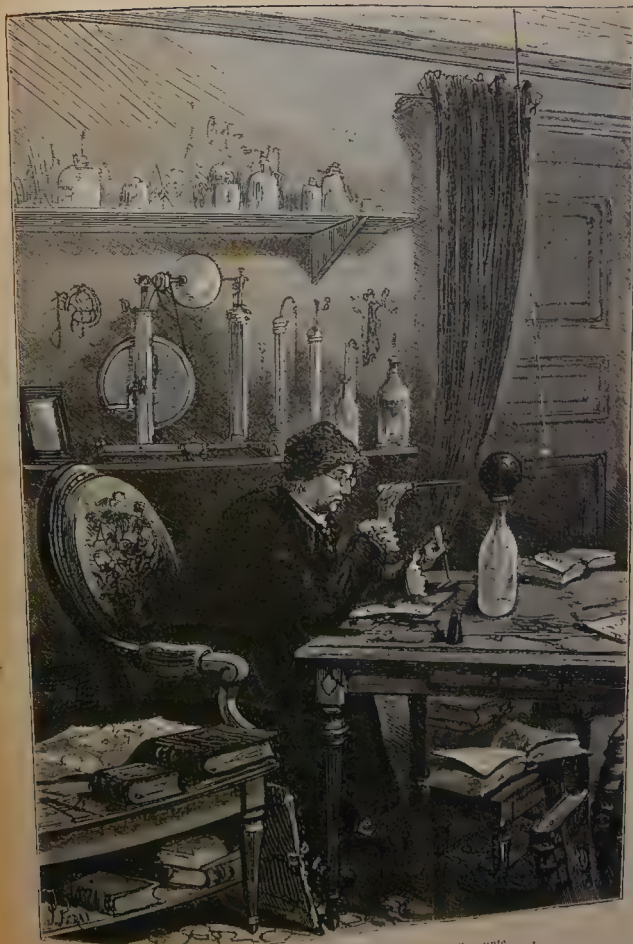



Fig. 299 — Franklin che sta studiando il potere delle punte

si chiama distanza esplosiva corrispondente a quella scintilla. La distanza esplosiva, dopo la quale le scintille non possono più scoccare fra due corpi elettrizzati in date condizioni, permette di formarsi un concetto approssimativo della differenza di potenziale che essi possono presentare in quelle condizioni.

Premesse queste notizie, ritorniamo alle *macchine elettriche*.

Diremo solo poche parole intorno alle macchine a strofinio poichè esse al giorno d'oggi non presentano che un interesse storico e teorico.

La più antica, e quindi naturalmente la più rudimentale, è quella che costruì Ottone di Guericke e che fu precedentemente descritta.

Nella figura 186 si vede una macchina elettrica della quale si serviva l'abate Nollet verso la metà del secolo XVIII.

Essa consta di un globo di vetro al quale si imprime un movimento rapido di rotazione per mezzo di una ruota grande e di una fune di rinvio o cigna. Le due mani che un osservatore applicava sul globo costituivano lo strofinatore della macchina. Notiamo di volo che tutte le mani erano ben lungi dall'essere adatte a quell'ufficio, poichè dovevano essere ben secche; quelle dell'abate Nollet, narra il fisico francesse Sigaud de la Fond, possedevano una speciale attitudine a sviluppare la virtù elettrica.

Una catena conduce l'elettrizzazione sopra un conduttore metallico sospeso a cordoni di seta che passano sopra puleggie (fig. 187).

Quel conduttore è il serbatojo al quale si attinge l'elettrizzazione per contatto o per conducibilità. Esso è dovuto a Bose, professore all'Università di Wittenbergh, il quale si serviva di un tubo di latta sostenuto da un ajutante in piedi sopra una stiacciata di resina.

Gli accidenti ai quali dava luogo la rottura del globo, in conseguenza dei lampi projettati sull'osservatore che strofinava, fecero introdurre nella macchina gli strofinatori di Winkler di lana o di cuojo. Coprendo la superficie di quegli strofinatori con diverse sostanze (oro musivo o bisolfuro di stagno, amalgama di stagno o di zinco, ecc.) si aumenta l'intensità dell'elettrizzazione.

In diverse macchine, come a cagion d'esempio in quella del fisico di Leida Musschenbroeck, al globo di vetro fu sostituito un cilindro.

Esso presenta il vantaggio di poter essere strofinato sopra una grande superficie. Sigaud de la Fond, preoccupato dall'alto prezzo dei cilindri di vetro, prezzo risultante dalle difficoltà della loro fabbricazione, pensò di usare come organo mobile della macchina un disco di vetro.

Questa idea fu fatta rivivere nel 1766 dall'ottico inglese Ramsden. Ma per poter ben comprendere il modo d'azione delle ultime macchine a strofinio, tipo Ramsden, Nairne, ecc.; fa mestieri sapere in che cosa consista il *potere delle punte* scoperto da Franklin nel 1747, e da lui fatto conoscere a Pietro Collinson suo amico, membro della Società Reale di Londra colla lettera seguente:

« Nella precedente mia lettera vi ho annunziato che continuando nelle nostre ricerche elettriche abbiamo osservato alcuni fenomeni singolari che abbiam considerato come nuovi. Il primo di quei fenomeni è il mirabile effetto dei corpi a punta, così per *attrarre* come per *respingere* il fuoco elettrico. Per esempio; collocate una palla da cannone di tre a quattro pollici di diametro sull'orifizio di una bottiglia di vetro ben pulita e bene asciutta (fig. 209). Sospendete ad un filo di

seta attaccato al soffitto, precisamente al disopra dell'orifizio della bottiglia, una pallottolina di sughero, presso a poco della grossezza di una palla di moschetto, e fate che il filo sia lungo quanto fa bisogno per venire ad arrestarsi di fianco alla palla da cannone; elettrizzate la palla ed il sughero verrà respinto alla distanza di 4 o 5 pollici, più o meno secondo la quantità di elettricità. Stando così le cose, se voi presentate alla palla la punta di un punzone lungo, sottile ed affilato, alla distanza di sei od otto pollici, la ripulsione viene immediatamente distrutta ed il sughero vola verso la palla. Perchè un corpo smussato produca il medesimo effetto, fa mestieri che venga avvicinato alla distanza di un pollice, e che tragga una scintilla.

« Ecco un fatto che prova che il fuoco elettrico è attratto dalla punta (soltanto quando essa è in comunicazione col suolo): se voi togliete dal suo manico la parte grossa dello spuntone e l'attaccate ad un bastone di ceralacca, voi avrete un bel presentare lo spuntone alla medesima distanza o avvicinarlo ancora di più, il medesimo effetto non risulterà mai; ma spingete il dito sino a toccare la testa dello spuntone, il sughero volerà istantaneamente verso la palla. Se presenterete quella punta nell'oscurità, voi vi vedrete qualche volta, ad un piede o più di distanza, una luce simile ad un fuoco fatuo o ad una lucciola. Meno acuta è la punta e più bisogna avvicinarla per vedere la luce, e qualunque sia la distanza alla quale scorgerete la luce, voi potete trarre il fuoco elettrico e distruggere la ripulsione...

« Per dimostrare che le punte sono atte così a lanciare come ad attrarre il fuoco elettrico, adagiate un lungo ago acuminato sulla palla da cannone, e voi non potrete elettrizzare quella palla tanto che basti per farle respingere la pallottola di sughero (tale fu l'esperienza di Hopkinson che la fece coll'idea di trarre dalla punta un numero maggiore di scintille e più forti, come da una specie di focolare, e che rimase molto stupito vedendo che non ne ricavava che di piccole, ed anche nulla affatto). Ovvero fate attaccare all'estremità di una canna da fucile sospesa, o d'una verga di ferro, un ago colla punta in avanti come una specie di bajonetta: sin tanto che essa vi resterà, nè la canna da fucile, nè la verga, malgrado l'applicazione costante di un tubo elettrizzato all'altra estremità, potranno mai essere elettrizzate al punto di dare una scintilla, perchè il fuoco sfugge dalla punta continuamente ed alla sordina. Nell'oscurità, potrete vedergli produrre il medesimo fenomeno che si produce nel caso di cui abbiamo parlato. »

È da notarsi che la punta fissata al conduttore che si scarica è terminata da un pennacchio brillante di color blu violaceo quando il conduttore è elettrizzato positivamente; essa porta invece un semplice punto bianco o lievemente *giallastro* se il conduttore è caricato *negativamente*. Ecco dunque che il semplice esame della punta nel bujo permette di riconoscere il segno dell'elettrizzazione del conduttore.

Mettendo la mano davanti la punta si sente come una corrente di aria che se ne sfugge e che può essere forte abbastanza per smorzare una candela posta davanti la punta o per mettere in rotazione un piccolo molinello di cui colpisce le alette (fig. 210).

Si spiega quel *Vento elettrico* dicendo che le particelle d'aria si elettrizzano a contatto della punta e sono per conseguenza da essa respinte. Se le cose stanno così, l'aria deve reagire sulla punta e respingerla.

Si verifica questa conseguenza della spiegazione del vento elettrico per mezzo dell'*arganetto elettrico* (fig. 222). L'arganetto consta di piccole aste conduttrici piegate alle estremità e terminate da punte tutte orientate nel medesimo senso. Esso è mobile sopra un perno verticale sostenuto da un piedestallo isolante. Appena lo si mette in relazione con un conduttore elettrizzato, esso si mette a girare come se fosse respinto dalle particelle d'aria, vale a dire in senso contrario a quello secondo il quale sono orientate le punte.

Noi ora possediamo tutti i dati necessarii per capire la costruzione della macchina di Ramsden.

Essa è composta (fig. 211), come tutte le altre macchine elettriche a strofinio, di un corpo strofinato, di strofinatori e di conduttori da elettrizzare.

Il corpo strofinato è un disco di vetro piantato perpendicolarmente pel suo centro sopra un asse orizzontale AA portato da un sostegno. Una manovella M, pure calettata su quell'asse, offre il mezzo di far girare direttamente il piatto.

Gli strofinatori F sono quattro cuscinetti di cuojo imbottiti di

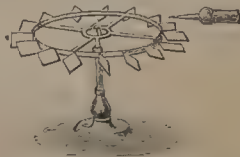



Fig. 210. — Molinello elettrico.

crine. Essi sono disposti a due a due in alto ed in basso del sostegno e da una parte e dall'altra del disco. Se ne rende metallica la superficie con intonachi di composizione svariatissima: noi menzioneremo solo l'oro musivo, ben puro di sale ammoniaco, e l'amalgama di Kienmager che contiene due parti di mercurio per una di zinco ed una di stagno.

Quegli strofinatori fanno l'ufficio delle mani dell'osservatore nella macchina Nollet. La parte di conduttore, che era sostenuta dal corpo dell'osservatore, qui è rappresentata da aste di rame incastrate nei montanti di legno della macchina e prolungate da una catena metallica che serpeggia sul suolo, o meglio ancora che si attacca in un punto qualunque di una condotta d'acqua o ad un becco di gas. In questo modo i cuscinetti trovansi collegati al suolo.

Il conduttore $C c C$ della macchina è generalmente di ottone e non presenta nessuno spigolo vivo. Così si evita la dispersione rapida segnalata da Franklin.

Ma le esperienze di Franklin vennero usufruite anche in altra guisa. Il conduttore $C c C$, sorretto da piedi di vetro r, come aveva indicato Sigaud de la Fond, finisce in a con degli U di ottone nell'interno dei quali son piantati aghi finissimi. Il disco elettrizzato passa quindi fra quella specie di mascelle ad aghi.

Di conformità alle esperienze di Franklin l'elettrizzazione del disco viene assorbita, scompare sotto l'azione di quei pettini per comparire nel conduttore della macchina.

Infine quei pettini fanno il medesimo ufficio che faceva la catena metallica collegante il conduttore della macchina di Nollet al globo di vetro girante.

Si può far girare il conduttore *c d* e condurlo a contatto di qualsiasi corpo isolato che si vuole elettrizzare. Esso è persin munito di un occhiello al quale si può appendere un conduttore come quello rappresentato nella figura 211, od attaccare una catena metallica che

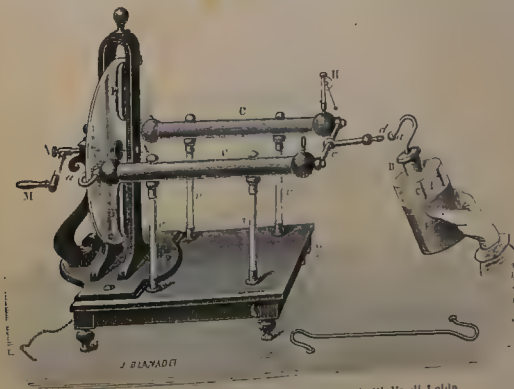



Fig. 211. — Macchina di Ramsden che carica una bottiglia di Leida.

deve condurre l'elettrizzazione nel punto ove si vuole che si manifesti.

Il conduttore *C c d C* si chiama un *polo della macchina;* nondimeno giova avvertire che quel nome lo si dà più specialmente a *c d*.

Se è elettrizzato positivamente, come suol esserlo ordinariamente, esso è un polo positivo.

L'altro polo, detto Polo negativo, ove appare necessariamente l'elettrizzazione negativa (poichè le due elettrizzazioni si producono sempre simultaneamente) è formato dai cuscinetti, dalla catena o dalla terra, o meglio dai cuscinetti e da un conduttore isolato al quale essi fossero collegati metallicamente.

Nel 1773 il costruttore inglese Nairne fece pel granduca di Toscana una macchina celebre molto più simmetrica di quella messa insieme da Ramsden.

Infatti in quella macchina ci sono due conduttori identici che ricevono uno l'elettrizzazione positiva, l'altro l'elettrizzazione negativa equivalente; mentre nella macchina di Ramsden l'elettrizzazione positiva

è ricevuta lungo tutto il grande conduttore a foggia di U, e l'elettrizzazione negativa dalle due paja di cuscinetti.

Perciò la macchina di Nairne deve essere considerata come il tipo delle macchine a strofinio.

Concorre a comporla (fig. 212): un cilindro vuoto di vetro, montato sopra un asse, sostenuto da due colonne di vetro e che può essere messo in rotazione per mezzo di una manovella, una porzione della quale è pure di vetro.

Codeste precauzioni hanno per iscopo di isolare completamente dal suolo l'asse di rotazione.

Due conduttori, sorretti essi pure da due colonnette di vetro sono situati a livello dell'asse del cilindro girante, uno per parte del cilindro stesso.

Ad uno dei conduttori è attaccato un pettine, cioè una serie di punte

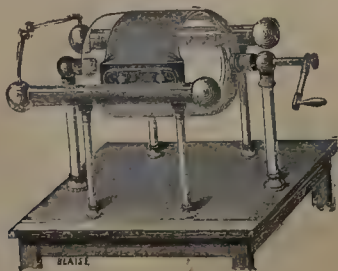



Fig. 212. — Macchina di Nairne.

metalliche acute. Quelle punte son rivolte verso il cilindro e vicine alla sua superficie.

All'altro conduttore è assicurato un cuscino bislungo, tutti i punti del quale premono uniformemente il cilindro, grazie a certe molle flessibili situate nell'interno del cuscino le quali trovano il loro appoggio sul conduttore.

Anche in questa macchina, come nelle precedenti, lo strofinio del vetro e del cuscino fa apparire le due elettrizzazioni. L'elettrizzazione positiva si manifesta sul cilindro, e per conseguenza, mercè il potere delle punte, sul conduttore che ne è armato. L'elettrizzazione negativa si sviluppa sul cuscino e per conseguenza sul conduttore che ne è solidale.

Cadaun conduttore porta alla sua estremità delle aste metalliche che si ponno avvicinare od allontanare l'una dall'altra; quelle aste son terminate da palle metalliche elettrizzate come i conduttori corrispondenti, e che si chiamano più particolarmente i *poli della macchina*.

La palla che appartiene al conduttore armato di punte è elettrizzata positivamente; essa è il *polo positivo*.

L'altra palla, che è elettrizzata negativamente, è il *polo negativo*.

Quando la macchina agisce, ed i poli sono tenuti ad un'opportuna

distanza, saltano fra essi scintille ad intervalli regolari, semprechè il moto della macchina si mantenga uniforme.

Se si vuole elettrizzare positivamente un corpo conduttore qualsiasi, si incomincerà coll'isolarlo dal suolo, poi lo si collegherà al polo positivo per mezzo di un'asta, di una catena o di un filo metallico.

Messo in relazione col polo negativo nella medesima guisa, si elettrizzerebbe negativamente, e se allora quel corpo è la terra, la macchina di Nairne agisce come quella di Ramsden.

Nella macchina storica di Nairne, il cilindro di vetro aveva 19 pollici di lunghezza (48 centimetri) e 12 pollici di diametro. La lunghezza dello strofinatore era di 14 pollici e la sua larghezza di 5. Essa poteva dare scintille fra i due poli, quand'anche fossero alla distanza di 35 centimetri.

Un anno prima, nel 1772, il fisico francese Le Roy aveva ideato

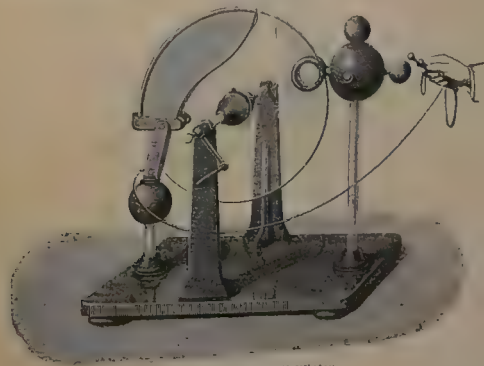



Fig. 213. — Macchina di Winter.

una macchina a strofinio, senza pettini e a due poli che potevano essere usufruiti separatamente od insieme.

Il costruttore austriaco Winter assestò gli organi di quella macchina nel modo che ora diremo.

Il corpo strofinato è un disco di vetro (fig. 213). Lo strofinatore consta di un pajo di cuscini confezionati come i precedenti. Di facciata e sul lembo opposto del piatto, un doppio anello di legno abbraccia e rasenta la superficie del disco. Quell'anello comunica con un conduttore sferico isolato che spesso porta un anello vuoto di grande diametro pieno di fili di ferro e destinato ad aumentare la superficie del conduttore. Il conduttore che sostiene i cuscinetti si elettrizza negativamente.

L'altro conduttore ed il suo anello di fili di ferro si elettrizza positivamente.

Menzioneremo anche una macchina interessante, ideata da Van Marum di Harlem, e nella quale lo stesso conduttore è a piacimento il polo positivo o il polo negativo della macchina.

Essa consta (fig. 214) di un disco di vetro assicurato all'estremità dell'asse di rotazione ed isolato da quell'asse per mezzo di gomma lacca. Un contrapeso fa equilibrio al disco.

Gli strofinatori sono disposti alle estremità di uno stesso diametro orizzontale e sono isolati da colonne di vetro. Un conduttore sferico A, parimente isolato, e due archi metallici $B B'$ e $L L'$, terminati da piccoli cilindri e che si ponno far girare, completano la macchina.

Quando gli archi sono disposti come indica la figura, i cuscinetti comunicano col suolo mercè l'arco metallico $L L'$ e mercè la colonna

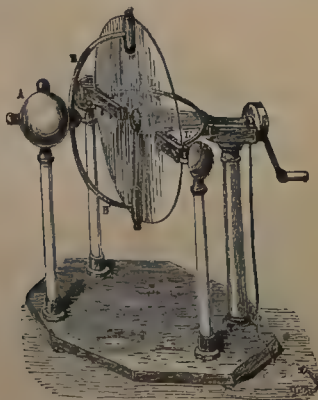



Fig. 214. — Macchina di Van Marum.

conduttrice. In tali condizioni, l'elettrizzazione negativa si porta al suolo, e l'elettrizzazione positiva passa dal disco girante sul conduttore A per l'intermediario dell'arco $B B$.

Se, per converso, si dispone l'arco $B B'$ orizzontalmente e l'arco $L L'$ verticalmente, il piatto comunicherà col suolo ed i cuscinetti comunicheranno col conduttore A. Questo allora si elettrizzerà negativamente e diverrà il polo negativo della macchina.

Tuttavia Van Marum nelle sue esperienze fece uso di una macchina molto grande, moltiplicazione di quella di Ramsden, costrutta da Cuthbertson (1787-1788) e della quale i due dischi, che avevano m. 1,65 di diametro ed erano lontani 19 centimetri, sfregavano sopra otto paja di cuscini situati alle due estremità del diametro verticale e sostenuti da montanti piantati in un tavolo a gambe di vetro, circostanza che permetteva di usufruire, se era necessario, l'elettrizzazione negativa dei

cuscini. Due sfere conduttrici di 30 centimetri di diametro e portate da piedi di vetro mobili, erano collegate metallicamente a due pettini doppii situati fra i dischi all'estremità del diametro orizzontale.

Questa macchina, costrutta con diligenza minuziosa, si trova in oggi nel museo Teyler ad Amsterdam.

Essa diede a Van Marum scintille di 61 centimetri di lunghezza e pennacchi luminosi in forma di ciuffo che avevano un diametro di 38 centimetri.

È inutile moltiplicare le descrizioni di macchine a strofinio, tuttavia vogliamo aggiungere che in certe macchine l'organo mobile è di ebonite e gli strofinatori di legno o di pelliccia. In tali condizioni gli strofinatori si elettrizzano positivamente ed il disco negativamente. Per ultimo ci corre l'obbligo di dire alcune parole sulla macchina d'Armstrong che per la sua originalità non deve passare inosservata.

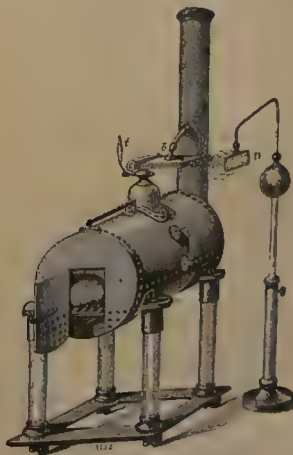



Fig. 215. — Macchina d'Armstrong.

Essa è composta (fig. 215) di una caldaja isolata nella quale si vaporizza acqua *distillata*. Quando il vapore ha assunto una forte pressione, si gira la chiavetta *t* che lo conduce in un tubo di ghisa *b c* lungo 25 centimetri sopra 5 di diametro, di là il vapore sfugge per 4 o 6 tubi orizzontali chiusi in una cassetta d'ottone piena di acqua fredda; quei tubi sono terminati da cannelli di legno di bosso, contorti internamente nell'intento di aumentare l'attrito del vapore nella sua uscita. Quel vapore, che si è condensato in parte attraversando la cassetta d'ottone, sfugge nell'atmosfera carico di goccioline d'acqua.

Esso incontra allora un pettine *D* collegato ad un conduttore. In tali condizioni, lo sfregamento sviluppa l'elettrizzazione negativa nel bosso, e per conseguenza nella caldaja; le goccioline per lo contrario sono positive, e comunicano la loro elettrizzazione positiva al pettine *D* ed al conduttore.

La macchina d'Armstrong dell'Istituto politecnico di Londra possiede 46 cannelli e continua a dare scintille che misurano sino 60 centimetri di lunghezza.

Quella macchina rumorosa non viene mai adoperata perchè spande intorno a sè grande quantità di vapore acqueo che poi nuoce assai all'azione di essa.

Per ottenere da questa macchina gli effetti più poderosi, Faraday ha stabilito essere necessario operare con vapore non secco, cioè carico di goccioline liquide, ed usare per la fuga del vapore cannelli di legno di bosso che è la sostanza indicata dalla pratica come la migliore. Oltre a ciò, l'acqua che alimenta la caldaja deve essere stata distillata prima di usarla.

Perchè l'elettrizzazione si effettui quando in luogo del vapore si vuol adoperare un gas, fa mestieri che il gas sia carico di pulviscoli.

Il fenomeno che servì come punto di partenza per la macchina di Armstrong fu scoperto da un operajo meccanico incombenzato di riparare le fughe di una macchina a vapore presso Newcastle. Costui, avendo i piedi posati su mattoni caldi poco conduttori, mise una mano nel getto di vapore che si sprigionava da una fuga e per caso mise l'altra mano sulla caldaja. Scoccò allora una bella scintilla e l'operajo risentì una forte scossa. Armstrong, conosciuto il fatto, lo studiò e su di esso basò la macchina elettrica a vapore acqueo.

Nelle macchine precedenti lo strofinio assorbe inutilmente una gran parte del lavoro speso per far girare la macchina.

Il professore Maxwell a questo proposito così si esprime: « La superficie del vetro fortemente positiva che si allontana dallo strofinatore, è attratta dagli strofinatori che sono negativi con maggiore intensità che la superficie in parte diselettrizzata che segue. Le attrazioni elettriche agiscono quindi come resistenza alle forze impiegate a far girare la macchina. Il lavoro consumato a far girare quella macchina è dunque più grande del lavoro consumato per vincere l'attrito e le resistenze comuni; l'eccesso di questo lavoro serve a produrre uno stato d'elettrizzazione la cui energia è equivalente a quell'eccesso.

« Perciò qualunque assetto nel quale l'elettrizzazione è prodotta unicamente a spese del lavoro meccanico contro le azioni elettriche avrà, se non un valore pratico, per lo meno una grande importanza scientifica. La prima macchina di questo genere sembra essere stata quella di Nicholson, descritta nelle *Transazioni filosofiche* del 1788 come un istrumento nel quale, agendo sopra una manovella, si producono le due specie di elettrizzazione senza strofinio nè comunicazione colla terra. »

Le macchine di questo genere si basano sul fenomeno dell'*elettrizzazione a distanza*, o, come altrimenti dicesi, dell'*elettrizzazione per influenza attraverso un isolante, un dielettrico*, fenomeno che sembra non essere stato notato in modo preciso che nel 1753 da Canton.

I primi esperimentatori, Ottone di Guericke, Gray, ecc., avevano inevitabilmente osservato l'influenza, ma non vi diedero importanza: il

terreno allora non era ancora adatto per fecondare quel seme. In fatti la storia delle scienze mostra che non basta guari aver osservato un fenomeno per comprenderlo ed afferrarne la portata. Fa mestieri eziandio possedere un complesso di idee che ne chiariscano le particolarità, idee che si acquistano lentamente e progressivamente. Spesso la messe impiega secoli per venire a maturanza.

Le esperienze fondamentali dell'*influenza elettrica* si ponno ripetere senza difficoltà facendo uso di elettroscòpii, di un corpo elettrizzato più fortemente che sia possibile in guisa che gli effetti sieno spiccati, di conduttori isolati, piccola sbarra metallica senza spigoli nè punta, asta o regolo di legno, uova, frutti diversi, posati sopra un corpo isolante: vetro asciutto e caldo, bastoni di ceralacca, ecc. Inoltre si impiegherà un piccolo apparecchio che si chiama *piano di prova* e del quale abbiam già fatto menzione. Lo si prepara attaccando all'estremità affilata di un bastone di ceralacca un piccolo disco metallico D, di oro cantarino, detto anche usualmente talco, di zinco (od anche di stagno tagliato in un foglio da cioccolata) (fig. 216).

Rammentiamo, sebbene sia forse superfluo, che un corpo indica che è elettrizzato in ispecial modo coi movimenti che comunica ai corpi leggieri vicini.

Si chiama *campo elettrico* la porzione dello spazio nel quale il corpo elettrizzato esercita il suo impero, vale a dire nel quale un corpo leggiero, per esempio, deve essere compreso per essere attratto. Il *campo elettrico* corrisponde al *campo magnetico*, definito cap. II, libro 1°.

Che cosa succede quando un corpo conduttore isolato viene introdotto in parte o totalmente nel campo di un corpo elettrizzato?

Tale è uno degli aspetti principali del problema della *influenza elettrica* che domanderemo all'esperienza di sciogliere.

Per fissare le idee, elettrizziamo positivamente un corpo A e supponiamo il suo campo elettrico limitato dalla superficie SS (fig. 216).

Prendiamo, d'altra parte, un conduttore B, neutro ed isolato dal suolo per mezzo di un bastone di ceralacca C. Infiliamo a' suoi estremi due occhielli di filo conduttore OO' (lino o canape) le cui estremità portano un corpo leggiero, per esempio palle di sambuco. Un picciol filo di seta ff' permette di spostare quegli occhielli sul conduttore B senza correre pericolo di mettere il conduttore in comunicazione col suolo.

Supponiamo inoltre che si possieda un piano di prova ed un elettroscopio del quale si elettrizzò positivamente l'organo mobile: paglia o palla di sambuco.

Se il conduttore B è *fuori del campo* di A, rimane *neutro*.

Per converso si elettrizza se lo si avvicina ad A quanto basta perchè una delle sue parti *penetri nel campo*. In fatti in quelle condizioni esso attrae i corpi leggieri; ovvero, cosa che dimostra il medesimo fatto, le palle nn, $n'n'$ dei pendoli si scostano l'una dall'altra, divergono.

Si sa che allora esse possiedono un'elettrizzazione del medesimo nome, elettrizzazione che esse presero, grazie ai fili conduttori che le portano, dalle porzioni del conduttore B sul quale sono situate.

Si riconosce inoltre, come era prevedibile, che le palle nn essendo nel campo di A sono attratte verso quel corpo nel tempo stesso che divergono. Spostando gli occhielli oo' sul conduttore per mezzo del filo

di seta ff', si nota che la *deviazione dei pendoli è tanto maggiore quanto più vicini essi sono alle estremità del conduttore*, e che esiste una regione intermedia che rimane neutra, vale a dire per la quale i pendoli non divergono punto. È la *regione* o *linea neutra* del conduttore elettrizzato.

Si dice che l'elettrizzazione di B si è prodotta *sotto l'influenza* del corpo A.

Spesso il corpo A si chiama *corpo influenzante* o *induttore* e B *corpo influenzato* o *indotto*.

In codesto fenomeno di influenza, *le due elettrizzazioni separate dalla*

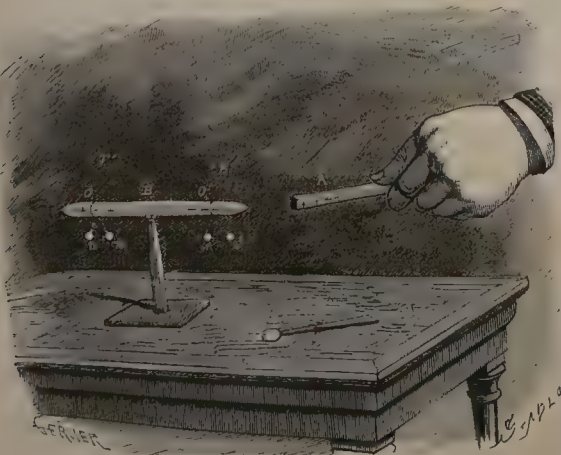



Fig. 216. — Elettrizzazione per influenza. — $D\,C$. Piano di prova

regione neutra sono opposte, l'una è negativa, ed è quella più vicina ad A, l'altra è positiva. Epino dimostrò questi fatti verso il 1758. Tale contrasto elettrico, che si è già rivelato nell'elettrizzazione per strofinio, è agevole da mettere in evidenza.

Tocchiamo l'estremità o col piano di prova $D\,C$; esso si elettrizzerà per contatto e prenderà un'elettrizzazione del medesimo nome della parte toccata.

Se si accosta il piano di prova così elettrizzato alla paglia di un elettroscopio, già elettrizzato positivamente, si nota una ripulsione.

Dunque il piano di prova, e per conseguenza il punto o, sono elettrizzati positivamente.

Se si fosse toccato un punto o dell'altra regione si sarebbe notata invece un'attrazione.

A sinistra della linea neutra abbiam dunque il conduttore elettrizzato positivamente, ed a destra della linea neutra negativamente.

È da notarsi che le attrazioni o le ripulsioni che la paglia ha mostrato rispetto al piano di prova sono tanto più energiche quanto più il punto toccato è vicino alle estremità del conduttore.

Questo fatto si esprime dicendo che la distribuzione dell'elettricità alla superficie del conduttore *B* è tale che l'elettrizzazione va crescendo dalla ragione neutra alle estremità; sia che si tratti della porzione elettrizzata positivamente, o polo positivo del conduttore, ovvero di quella che è elettrizzata negativamente, o polo negativo.

Se si avvicina di più il conduttore *B* al corpo elettrizzato *A*, si verificano i medesimi fatti, ma l'elettrizzazione diviene più intensa e la linea neutra si accosta ognor più all'estremità vicina ad *A*.

Se si allontana *B* in guisa che esca dal campo elettrico di *A*, tutti i pendoli ricadono istantaneamente: il conduttore è nuovamente neutro. Non si osserva più nè elettrizzazione positiva nè elettrizzazione negativa; esso è ritornato precisamente nello stato in cui si trovava prima che lo si fosse introdotto nel campo.

Fig. 217.

Questo fatto si enuncia dicendo che le due elettrizzazioni, le due cariche elettriche provocate da *A* sono perfettamente equivalenti e si neutralizzano, scompajono, appena non sono più mantenute separate dal corpo elettrizzato *A*. Tale equivalenza fu da noi già notata a proposito della elettrizzazione per strofinio.

Ora, che cosa succede se il conduttore *B*, essendo sotto l'influenza del corpo influenzante *A*, viene toccato in qualche punto in guisa da metterlo in comunicazione colla terra?

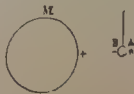
Succede che l'elettrizzazione del medesimo nome di quella del corpo influenzante *A*, vale a dire, nel caso presente, l'elettrizzazione positiva scompare. Infatti si vedono le palle *n' n'* venire a contatto appena il dito tocca il conduttore, e ciò tanto se il punto toccato è in *o* quanto se è in *o'*.

Fig. 218
Scampanio elettrico.

Per converso, l'elettrizzazione negativa rimane, e se, DOPO AVER LEVATO IL DITO si allontana il corpo *A*, si avrà un conduttore *B* *elettrizzato negativamente*, ed esso potrà servire ad elettrizzare un altro conduttore col meccanismo medesimo del precedente.

Se si accosta sufficientemente il corpo influenzato isolato *B* all'induttore positivo *A*, si vede fra essi saltare una scintilla, dopo di che il corpo induttore non è più elettrizzato che debolmente. *In quanto a B, esso è tutto intiero elettrizzato positivamente.*

Se la scintilla scoccasse fra *A* e *B* mentre quel corpo è in comunicazione col suolo, *A* e *B* dopo la scintilla non sarebbero più elettrizzati o lo sarebbero debolmente assai. Ben inteso che l'influenza si esercita altresì fra due conduttori elettrizzati che si avvicinino l'uno all'altro e varia colla loro distanza, colla loro forma, in una maniera complessa.

L'elettrizzazione per influenza precede sempre i fenomeni di attrazione o di scintille, l'*azione delle punte*, ecc. Vediamone un esempio.

Un corpo elettrizzato M (fig. 217) deve essere avvicinato alla palla di sambuco $A\ B$ che si vuol far muovere, e questa non incomincia a spostarsi se non dopo che è penetrata nel campo del corpo elettrizzato. Ma allora, secondo quanto precedentemente si disse, essa è elettrizzata per influenza. Se il suo filo di sospensione è conduttore come lo è il sostegno, essa ha una elettrizzazione opposta a quella del corpo influenzante avvicinato ad essa, laonde si ha attrazione; se il filo è isolante, sulla palla di sambuco si manifestano le due elettrizzazioni, ma l'attrazione vince la ripulsione, poichè è l'elettrizzazione di nome contrario a quella del corpo influenzante che appare la più vicina a lui. In poche parole, i fenomeni elettrici non si producono che fra corpi tutti elettrizzati, tutti immersi in un *campo elettrico*. In un campo elettrico un corpo non è mai neutro.

A codeste esperienze d'attrazione e di ripulsione soglionsi dare forme

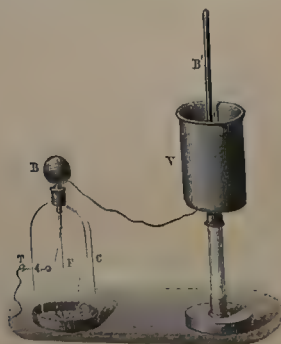



Fig. 219. — Influenza sopra un conduttore vuoto. — Schermo elettrico.

svariate: quando la palla di sambuco, che supporremo sospesa ad un filo isolante, viene a toccare per virtù dell'attrazione il corpo elettrizzato, essa prende una carica del medesimo nome di quella del corpo stesso e perciò è respinta; ma se invece incontra un conduttore in comunicazione col suolo, si scarica. L'influenza allora si esercita nuovamente e la palla assume un movimento oscillatorio fra i due corpi sino a tanto che essa abbia scaricato quello che è elettrizzato; questa carica è detta *convettiva* e si effettua per contatti successivi. Se in luogo di una palla di sambuco, si prende un pezzo di sughero annerito portante dei fili in maniera da imitare il corpo e le zampe di un ragno, si ha l'esperienza del *ragno di Franklin* (figura della 17.ª esperienza). Se la palla è metallica ed i conduttori sono due timbri (campanelli senza battaglio) si ha lo *scampanio o cariglione elettrico* (fig. 218). La danza dei forzati (figura della 8.ª esperienza) si spiega nella medesima guisa.

Si può separare l'induttore dall'indotto con un piatto o disco di vetro, di ebonite, ecc., senza che sia possibile impedire l'influenza; solo si avverte che la sua intensità è semplicemente più o meno modificata secondo la natura dell'isolante interposto. L'influenza, come fu dimostrato da Faraday, è più grande coi corpi solidi che coll'aria.

Noi sappiamo già comunicare l'elettrizzazione ad un corpo per strofinio, ovvero — se si possiede un corpo elettrizzato in quel modo — per contatto diretto e per conducibilità. Il fenomeno dell'influenza permette di operare a distanza ed attraverso gli isolanti e di far prendere ad un corpo un'elettrizzazione del medesimo nome o di nome contrario a quella del corpo induttore secondo che si opera per *scintilla* o per *comunicazione col suolo*.

Menzioniamo ancora un caso notevole d'influenza.

Il corpo influenzante attaccato all'estremità di un manico isolante *B'* (fig. 219) è introdotto nell'interno di un conduttore vuoto *V* sostenuto da un piedestallo isolante. Quel conduttore comunica per mezzo di un filo metallico colla palla d'ottone *B* di un elettroscopio le cui foglie mobili sono in *F*.

Il corpo introdotto carica il vaso *V* per influenza; se è positivo, esso

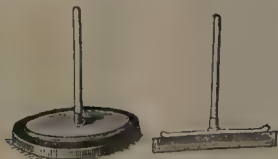



Fig. 220. — Elettroforo di Volta. — Sezione dell'apparecchio.

elettrizza negativamente la superficie interna del vaso e positivamente la superficie esterna; di più, le fogliette dell'elettroscopio fanno un angolo che resta invariabile qualunque sia la posizione dell'influenzante nell'interno del vaso *V*. Nel caso precedentemente esaminato, ove i due corpi influenzante ed influenzato sono per converso *esterni l'uno all'altro*, l'elettrizzazione dipendo dalla loro distanza, dalla loro posizione relativa, e quantunque possano presentare cavità, la carica non si porta alla superficie di quelle cavità ma solo alla superficie esterna dei conduttori. Ritirando dal vaso *V* l'influenzante, le fogliette *F* ritornano a contatto, il vaso V ritorna neutro. Le due cariche positiva e negativa sviluppatesi per influenza son dunque ancora equivalenti. Se prima di togliere l'influenzante gli si fa toccare il vaso *V*, la deviazione delle fogliette *F* non ne è modificata, ma l'influenzante, come pure la superficie interna del vaso *V* si trovano scaricati, il che significa che la carica positiva del corpo influenzante è equivalente alla carica negativa che la sua presenza sviluppò sul vaso. In conclusione, dopo un tale contatto la superficie esterna del vaso porta una carica equivalente, eguale a quella che aveva il corpo influenzante prima del contatto. Ripetendo tali contatti con conduttori elettrizzati qualunque introdotti successivamente od insieme nel vaso *V*, le loro cariche passe-

ranno intieramente sulla superficie esterna ove esse si addizioneranno o si sottrarranno secondo che i corpi introdotti sono positivi o negativi.

Se il vaso V è messo in *comunicazione col suolo* e contiene conduttori elettrizzati nell'interno, questi non eserciteranno azione di sorta sopra conduttori esterni vicini al vaso. Se erano neutri prima dell'introduzione dei corpi elettrizzati nel vaso, resteranno neutri anche dopo, come lo indica l'elettroscopio. L'*influenza non si produce allora* attraverso il vaso; esso fa da *schermo elettrico*. Tutti questi fatti sono di somma importanza.

Gli apparecchi che hanno per iscopo di produrre agevolmente una forte elettrizzazione usufruendo il fenomeno dell'influenza, in guisa da sopprimere la perdita di lavoro dovuta agli sfregamenti, si chiamano *macchine elettriche ad influenza*.

Descriveremo quelle che sono più in uso.

Una piccola macchina ad influenza molto semplice e facile da pre-

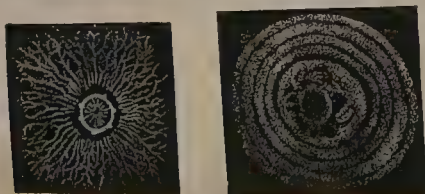



Fig. 221. — Figure di Lichtenberg

parare porta il nome di *elettroforo di Volta* (fig. 220). Wilcke, dal canto suo, aveva ideato un apparecchio analogo verso il 1762.

Siccome l'elettroforo può servire per ripetere la massima parte delle esperienze d'elettricità fa d'uopo saperlo fabbricare.

A tal uopo basta colare in uno stampo metallico circolare e piatto — per esempio nel coperchio di una larga scatola di latta — una materia isolante anticipatamente fusa.

Si può prendere resina mista ad un po' di pece di Borgogna e di terebentina per evitare che la stiacciata di resina, riesca a superficie troppo bollosa. Se non si possiede resina si cola semplicemente nello stampo ceralacca. Ma ciò che è di molto preferibile è un semplice disco di cauciù indurito od ebonite.

D'altra parte si copre di stagno un disco di legno meno largo del primo e nel centro gli si pianta un manico isolante: per esempio un bastone di ceralacca. Altrove indichiamo la costruzione di un elettroforo molto semplificato (Veggasi la figura della 5.ª esperienza.)

Tali sono i due organi dell'elettroforo.

Per servirsene si elettrizza da prima la stiacciata di resina battendola con una pelle di gatto; in quelle condizioni si elettrizza negativamente; poi ci si mette sopra lo scudo, che così chiamasi il disco. Ciò fatto, si tocca lo scudo col dito e lo si solleva pigliandolo pel suo

manico isolante. Esso è allora elettrizzato positivamente: se gli si avvicina un dito si possono trarne scintille che raggiungono sino 4 e 5 centimetri di lunghezza. Lichtenberg costruì un *elettroforo* la cui stiacciata aveva 6 piedi di diametro, lo scudo 5 piedi, e che forniva scintille di 14 a 16 dita di lunghezza.

Ciò che si deve notare è questo, che quando lo scudo è diselettrizzato basterà portarlo sulla resina ed effettuare la serie di operazioni indicate per caricarlo di nuovo senza che ci sia bisogno di battere nuovamente la stiacciata; e ciò per parecchie riprese. E non basta; una volta che siasi elettrizzata la resina, se vi si applica lo scudo e poi si abbandona l'apparecchio in un ambiente asciutto, esso potrà servire benissimo in capo a parecchie settimane ed anche a parecchi mesi senza che vi sia d'uopo di far uso della pelle di gatto.

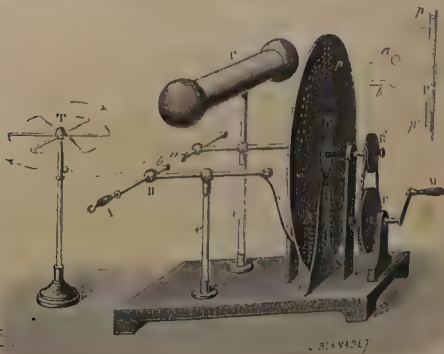



Fig. 222. — Macchina di Bertsch. — T, Arganetto elettrico.

Perciò Volta aveva chiamato il suo apparecchio *elettroforo perpetuo.*

In generale, quando un corpo influenzato ed isolato si avvicina di troppo al corpo induttore, salta fra essi una scintilla e sul corpo influenzato non rimane più che un'elettricità del medesimo nome di quella dell'induttore, come fu già detto in precedenza.

L'elettroforo dimostra che se l'induttore è un isolante ed il corpo influenzato un disco senza spigoli nè punta, le cose non avvengono più nel modo medesimo; si ponno mettere i due corpi a contatto senza che si produca scintilla visibile e senza che le elettrizzazioni che si stanno a fronte scompajano. Se per lo contrario si avvicinasse alla stiacciata di resina un corpo angoloso, il dito, scoccherebbe tra essi una scintilla.

E ciò che vi ha di singolare e di impreveduto è questo: che la stiac-

ciata si elettrizza positivamente nel punto ove saltò la scintilla; una regione neutra circonda quel punto; poi su tutto il resto della stiacciata si rinviene l'elettrizzazione negativa.

Tutti ponno verificare codesti fatti projettando sulla stiacciata per mezzo di un piccolo mantice, un miscuglio di fiori di solfo e di minio. Quelle polveri sfregandosi una contro l'altra e sulla canna del mantice si elettrizzano: il solfo negativamente ed il minio positivamente.

Il solfo negativo è attratto dalla regione positiva della stiacciata e colora la resina in giallo.

Il minio, che è rosso e positivo, si porta invece sulla regione negativa.

Fra le zone gialla e rossa la resina si mostra scoperta, in conseguenza dell'esistenza di una plaga neutra.

Le figure così ottenute, chiamate *figure di Lichtenberg* (1) presentano aspetti svariatissimi (fig. 221) e sono più belle quando si produce la scintilla avvicinando alla resina e pel suo lembo lo scudo una volta che sia elettrizzato.

Se immediatamente dopo caricato lo scudo si projettano le polveri elettrizzate sulla stiacciata di resina, si vedono disegnarsi un' infinità di punti gialli circondati da un numero variabile di raggi. Quelle stelle sono in certi punti più estese e specialmente in vicinanza ai lembi.

Lichtenberg, che studiò con stiacciate e polveri svariate quelle figure, le descrive con ammirazione ed entusiasmo e le paragona ad un firmamento seminato di costellazioni ed illuminato da parecchi soli.

Ciò si spiega notando che le superficie dello scudo e della stiacciata non sono perfettamente piane, e là ove esse vengono a contatto producónsi scintille piccolissime alle quali sono dovute le apparenze osservate.

Quando si vuol eseguire questo esperimento non bisogna aspettare molto tempo, poichè ben presto l'elettrizzazione negativa si estende su tutta la superficie della stiacciata di resina.

Queste osservazioni bastano per mostrare come sia complesso il fenomeno dell'influenza quando il corpo induttore è un isolante.

Lo scudo dell'elettroforo una volta elettrizzato può servire per caricare, per contatto, conducibilità o scintilla, un conduttore qualunque, ma la manipolazione necessaria è uggiosa.

Non sarebbe egli possibile di surrogarla con un'altra più comoda e tale da produrre forti elettrizzazioni?

Certo che sì, e noi vedremo subito come le MACCHINE AD INFLUENZA propriamente dette sciolgano in parecchi modi il problema.

Ecco qua per prima la macchina di Bertsch, fisico svizzero.

Essa consta di un piatto circolare di ebonite P (2) (fig. 222) cui si può imprimere un movimento rapido di rotazione, per mezzo di una manovella M e di due ruote R ed R', a condizione di dare alla ruota R', che è imperniata sul medesimo asse del piatto, un diametro molto più piccolo di quello della ruota R direttamente soggetta alla manovella. Una cigna collega le due ruote.

---

(1) Cristoforo Lichtenberg, fisico tedesco, 1742-1799.

(2) L'*ebonite* è un caucciù « vulcanizzato » che contiene sino a 60 per 100 di solfo. La voce « vulcanizzato » viene dal latino *Vulcanus* (Vulcano, dio del fuoco), perchè gli alchimisti davano al solfo il nome di quella deità, come chiamavano Saturno il piombo, Marte il ferro, ecc.

Questo sistema di *moltiplicazione* del numero dei giri della manovella lo si osserva in quasi tutte le macchine ad influenza.

Dirimpetto alle due estremità del diametro verticale del piatto son situati due pettini metallici p, p', comunicanti per mezzo dei conduttori $p\,a$, $p'\,b$ colle palle a, b che sono i *poli della macchina*. Quei conduttori son portati da colonnette di vetro v, v.

Una lamina verticale d'ebonite I, che si chiama l'*induttore* della macchina, sta di fronte al pettine inferiore p' ed è da esso separato per mezzo del piatto P.

Ricorderemo che prima di Bertsch, Piche, ingegnoso dilettante francese, aveva costrutto una macchina affatto simile, ma nella quale il piatto P era di carta dura anzichè di ebonite.

L'azione di questa macchina è semplicissima.

In primo luogo bisogna *inescarla*.

A tal uopo si strofina o si batte l'induttore I con una pelle di gatto od una stoffa di lana, il che lo *elettrizza negativamente*.

L'induttore agisce *per influenza* attraverso il piatto P sul conduttore $p'\,b$.

L'elettrizzazione del medesimo nome di quella dell'induttore, vale a dire l'elettrizzazione negativa, si porta il più lontano possibile dall'induttore e va per conseguenza in b. L'elettrizzazione positiva si manifesta per converso in p' sulla parte più vicina dell'induttore.

Grazie al *potere delle punte*, quella elettrizzazione passa sul piatto P e rimane in faccia a p' ove essa si produce, poichè l'ebonite è una sostanza isolante.

Ma facendo girare il disco, la faccia elettrizzata positivamente viene ben presto a trovarsi dirimpetto al conduttore $p\,a$. Quel conduttore si elettrizza allora per influenza. Come sempre, l'elettrizzazione del medesimo nome di quella del piatto influenzante, in questo caso l'elettrizzazione positiva, guadagna la parte a del conduttore che è la più lontana dal piatto, e l'elettrizzazione negativa si stabilisce per converso sul pettine p vicino al piatto.

Come poc'anzi, anche ora per effetto del potere delle punte codesta elettrizzazione negativa passa sul piatto P e distrugge l'effetto dell'elettrizzazione positiva del piatto stesso.

Le parti del piatto che passano davanti al pettine P sono perciò ricondotte allo stato neutro, naturale.

La rotazione del piatto col ricondurre le parti neutre fra l'induttore I ed il pettine p' fa che si riproduca la medesima serie di fenomeni sin tanto che durerà la rotazione.

Se i poli a e b sono a distanza opportuna saltano fra essi scintille in modo regolare e continuo.

La distanza fra i poli a, b si regola facendo scorrere il conduttore $A\,b$ nella palla B per mezzo dell'impugnatura isolante A.

A quel conduttore mobile si dà spesso il nome di *eccitatore* della macchina.

In realtà l'induttore I perde gradatamente la sua elettrizzazione e la macchina agisce sempre meno bene sino al momento in cui non produce più nulla, essendo allora l'induttore inetto ad esercitare l'influenza sul conduttore $p'\,b$.

Il costruttore Carré seppe evitare ingegnosamente gli inconvenienti

di codesta *dispersione* prendendo un induttore mobile, piatto di vetro o di ebonite A (fig. 223) che l'opera della manovella M fa girare lentamente fra un pajo di cuscinetti D e che lo strofinio mantiene elettrizzato.

In una parola, l'induttore della macchina del Carré è il disco di una piccola macchina di Ramsden priva di conduttori.

Se il piatto o disco induttore A è di vetro, si elettrizza positivamente, ed allora il polo positivo della macchina è rappresentato dalla palla del conduttore T, ed il suo polo negativo dal grande conduttore orizzontale C.

Spesso la macchina porta, come nel caso della figura 223, in B, dietro

Fig. 223. — Macchina di Carré.

il disco, un secondo induttore mantenuto elettrizzato dal conduttore C al quale è sospeso. I pettini sono in $E F$.

Le scintille saltano fra T e C.

E siccome l'ebonite è una sostanza poco igrometrica che per conseguenza si conserva facilmente secca, la macchina del Carré presenta il prezioso vantaggio di agire anche nei tempi più umidi ed in una sala ove la respirazione di un numeroso uditorio riempie l'aria di vapore acqueo.

È una delle macchine più fedeli, più comode per le esperienze di elettricità.

Esaminiamo ora macchine più complesse, costrutte anteriormente alle sopradescritte da Holtz, semplice preparatore in un'università germanica.

Ve ne ha di parecchie specie.

La macchina Holtz detta di prima specie (fig. 224), molto delicata e molto sensibile all'umidità, consta di un disco verticale P di vetro verniciato con gomma-lacca e che si può far girare rapidamente intorno all'asse o per mezzo di una manovella M e di ruote R.

Alcuni sostegni isolanti rettangolari v, v... reggono per mezzo di quattro girelle circolari a gola c un secondo disco di vetro fisso P' disposto parallelamente al primo disco P ed a poca distanza da esso.

Il piatto fisso P', il cui diametro è più grande di quello del disco móbile, porta tre aperture:

Un'apertura centrale, circolare e larga, che offre il passaggio all'asse di rotazione o, e due aperture F, F' sensibilmente rettangolari e situate alle estremità di uno stesso diametro leggiermente inclinato sull'orizzonte, che diconsi le *finestre* della macchina.

Sopra uno degli orli di cadauna finestra è incollato un pezzo di carta forte. Quei due pezzi di carta costituiscono ciò che si denomina

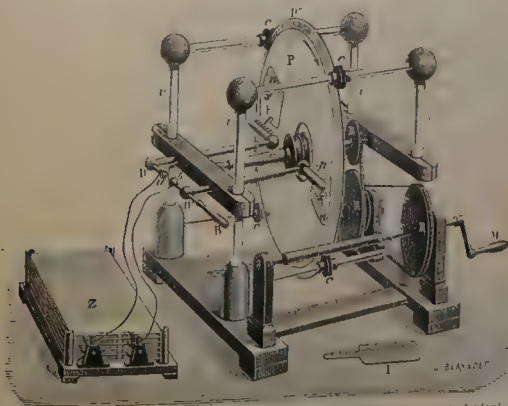



Fig. 221. — Macchina di Holtz (1ª specie) che carica una batteria di condensatori piani Z.
(Il disco fisso P' fu leggiermente girato sopra sè stesso in guisa che si possano vedere con chiarezza i particolari delle finestre e delle armature.)

le *armature* o induttori della macchina. La parte rettangolare n si chiama la *base* delle armature, la parte relativamente acuta x ne è la *punta*.

La base dell'armatura relativa alla finestra F è incollata sul lembo superiore di quella, in guisa che la punta x cada nella parte svasata della finestra e si trovi vicinissima al disco mobile.

Per converso la base dell'armatura relativa alla finestra F' è incollata sul lembo inferiore della finestra stessa e la punta cade ancora nella parte svasata; le due armature occupano posizioni simmetriche rispetto al centro del disco.

Finalmente il movimento di rotazione del disco mobile è scelto in guisa tale che un osservatore spostandosi sul disco fisso nel senso della rotazione del disco mobile, *incontra la punta di cadauna armatura prima di incontrare la base.*

La macchina è completata come precedentemente da due pettini p e p' che stanno di fronte alle armature delle finestre F, F' e sono separati da essa dal disco mobile.

Come sempre, quei pettini sono collegati a due conduttori $a\,b$ che costituiscono i *poli della macchina*.

Si può a piacimento allontanare o mettere a contatto quei poli, facendo scorrere nelle due palle $D\,D'$, o solo in una di esse, per esempio nella D', un conduttore mobile $B\,b$, o *eccitatore*, per mezzo di un manubrio isolante B.

Per far agire questa macchina di Holtz, fa mestieri anzitutto *innescarla*.

A tal fine si conducono i poli a, b a contatto in guisa da formare un conduttore unico $p\,a\,b\,p'$.

Si elettrizza poscia una piccola piastra sussidiaria d'ebonite I strofinandola fortemente sopra un pannolano, poi si fa girare la macchina nel tempo stesso che si introduce rapidamente l'ebonite elettrizzata fra i due dischi, ma in guisa da toccare solo una delle armature, quella della finestra F, per esempio. Quell'armatura si trova perciò elettrizzata negativamente.

Si è avvertiti che la macchina è inescata quando si sente uno strepito, uno scoppiettio molto spiccato ed affatto caratteristico.

Bisogna scegliere come induttore sussidiario una lamina di ebonite I che sia possibile di elettrizzare quanto basta per trarne col dito scintille lunghe almeno un centimetro.

Questa macchina di Holtz agisce meglio che in altre circostanze in un tempo secco e freddo, e quando spirano i venti di levante.

Perchè l'inescamento riesca a colpo sicuro fa d'uopo collocare la macchina sopra un tavolo munito di un'ampia apertura e le cui gambe sieno contornate da una tela formante canna da camino.

Sotto il tavolo si brucia in un fornello carbone di legna bene acceso e che non mandi fumo.

Con questo metodo si seccano sufficientemente bene gli organi della macchina e l'atmosfera che la circonda, per permetterle di funzionare anche nelle condizioni più cattive.

Il crepitio che si sente proviene da piccole scintille che sfuggono dai pettini p e p', come anche dalle punte delle armature F ed F'.

Se coll'ebonite si tocca l'armatura F vedonsi nel bujo apparire all'estremità delle punte del pettine negativo p' e dell'armatura F, punti luminosi. Dal pettine positivo p si stacca un fiocco luminoso che si porta sul piatto mobile e secondo una direzione opposta a quella nella quale gira il disco. La punta dell'armatura F è positiva e manda essa pure una linea luminosa sul piatto mobile.

Se continuando a girare si allontanano i poli a $a\,b$ in guisa da sopprimere il contatto, il conduttore $p\,a\,b\,p'$ dà due conduttori isolati, distinti, $p\,a$ e $b\,p'$ e fra a e b saltano scintille sotto forma di tratti luminosi azzurrognoli, paralleli od in fiocchi.

Se, come fu supposto, fu l'armatura F che venne toccata colla piastra di ebonite, a è il polo positivo della macchina e b il negativo.

E siccome in questa macchina di Holtz tutto è simmetrico, i poli saranno invertiti se prima si tocca F'; in questo caso a sarà il polo negativo e b il polo positivo.

Studiamoci ora di ben comprende il giuoco della macchina.

L'armatura F essendo elettrizzata negativamente agisce per influenza sul conduttore $p\ a\ b\ p'$; l'elettrizzazione positiva si manifesta in p nella parte del conduttore vicina all'armatura F che è negativa, e l'elettrizzazione negativa in p' che è la parte del conduttore più lontana dall'induttore F. Mercè il potere delle punte, l'elettrizzazione positiva da p passa sul disco mobile nella parte che gli sta di fronte, e l'elettrizzazione negativa da p' passa parimente sulla porzione di quel medesimo disco isolante che si trova dirimpetto ad esso.

Dopo un mezzo giro la metà della superficie del contorno del disco P che passò dinanzi al pettine p è elettrizzata positivamente, l'altra metà che passò dinanzi al pettine p' è per converso elettrizzata negativamente.

La base dell'armatura F trovandosi allora in faccia ad una regione negativa del disco e la sua punta in faccia ad una regione positiva, prenderà per questa doppia ragione un'elettrizzazione positiva alla base ed un'*elettrizzazione negativa alla punta.*

Per la medesima ragione l'armatura F' non potrà rimanere intieramente negativa come lo era sul principio, ed infatti diventa negativa alla base e *positira alla punta.*

L'elettrizzazione di quelle punte si porta sopra cadauna metà della seconda faccia del disco mobile che passa davanti ad esse durante un giro del disco P. Per conseguenza il contorno del disco P si trova elettrizzato positivamente nella sua metà superiore e sulle due faccie della stessa e negativamente sulle due faccie della metà inferiore.

Se il disco riceve un movimento di rotazione in senso contrario al normale, vale a dire in guisa che incontri la *base delle armature prima di incontrarne le punte*, l'elettrizzazione delle armature è richiamata sul disco ed in capo ad alcuni minuti esse sono neutralizzate. La macchina adunque, quando si cambia il senso della rotazione del disco P, per quanto sia bene inescata non agisce più.

Se dopo inescata la macchina si allontanano i poli a, b, sino allora mantenuti a contatto, le cose succedono come fu già spiegato a proposito della macchina più semplice di Carré.

Fra a e b saltano scintille non appena la differenza di potenziale dei poli sia sufficiente, vale a dire ad intervalli regolari se la macchina gira con moto uniforme.

Non insisteremo su tutte le notevoli singolarità che presenta questa macchina di Holtz, non essendo esse ancora completamente chiarite dagli scienziati.

Vuolsi tuttavia aver presente che se i poli a b sono lontani quanto basta perchè tra essi non possano più prodursi scintille, succede spesso che la macchina si disesca o cessa dall'agire; ed in certe condizioni si produce anche un'inversione dei poli.

Si può evitare questo inconveniente col munire la macchina (fig. 225) di un *conduttore diametrale $D\ D$* il quale, facendo costantemente l'ufficio del conduttore $p\ a\ p\ b'$ della macchina precedente nel mentre la si inesca, mantiene la macchina in lavoro normale, malgrado il distacco dei poli. Le basi delle armature di F ed F' si estendono allora sopra un arco di quasi un quadrante ed in parte prospettano il conduttore diametrale $D\ D$ che si inclina più o meno sull'orizzonte.

Nella figura 225 si osserva altresì una modificazione introdotta da Ducretet.

Questo costruttore surrogò la lamina di ebonite, che serve di primo induttore, con un disco di vetro C che si elettrizza strofinandosi contro due cuscinetti e passa quindi davanti all'armatura a che esso elettrizza positivamente.

Poggendorff (1) per il primo pensò di riunire sopra un medesimo fusto quattro dischi formanti col loro complesso due macchine di Holtz che hanno i medesimi poli. Il meccanico Ruhmkorff assettò questa

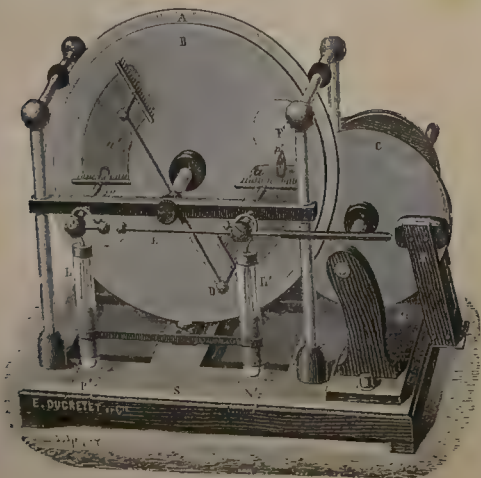



Fig. 225. — Macchina di Holtz (1ª specie) con conduttore diametrale D D e disco induttore C.

doppia macchina nel modo seguente: i due dischi fissi che portano le armature sono vicini e compresi fra i due dischi mobili; due pettini a foggia di mascella abbracciano l'assieme dei dischi. I poli della macchina sono in P ed N (fig. 226).

Questa macchina si innesca e funziona come la precedente. Benchè priva di conduttori diametrali non perde mai o ben di rado l'innescamento, per quanto discosti sieno i poli. È difficile trovare la vera ragione di questo fatto. Oltre a ciò, essa può rimanere lungo tempo innescata, sebbene non la si faccia agire.

(1) Giovanni Cristiano Poggendorff, chimico e fisico, nato ad Amburgo nel 1796, morto nel 1877.

Senza addentrarci in particolari menzioneremo anche la *macchina di Holtz di seconda specie*, nella quale vi sono due dischi orizzontali che movonsi in senso contrario e non portano nè finestra nè armatura.

Quattro pettini sono assestati da una parte e dall'altra dei due dischi ed alle estremità di due diametri ad angolo retto. Quei pettini son collegati a due a due dalle verghe che si vedono presso il piedestallo della figura.

Un induttore sussidiario, una piastra di ebonite elettrizzata, è qui ancora necessaria per inescare la macchina. La si presenta ad uno dei pettini dopo aver messo i due poli a contatto.

Nelle macchine di Voss (1881) e di Wimshurst (1885) l'inescamento si effettua da sè medesimo appena si metta in moto la macchina.

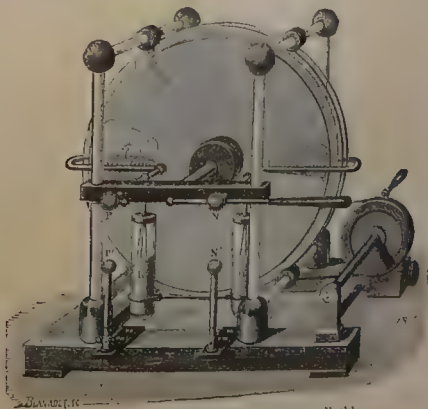



Fig. 226. — Macchina di Holtz a quattro dischi.
P ed N, Poli della macchina. — K e H, Bottiglie di Leida. — P' ed N', conduttori a canna che si possono condurre a contatto di P e di N quando si vuole lanciar la corrente in un filo le cui estremità sono fissate nei fori aperti nella parte inferiore di P' ed N'.

Per non moltiplicare le descrizioni di apparecchi consimili, abbiamo chiarito le figure 228 e 229 che rappresentano le macchine di Voss e di Wimshurst con scritte illustrative.

Ducretet ha costruito una bella macchina Wimshurst a dodici dischi, la quale in conclusione altro non è che la riunione sopra un solo fusto di sei macchine comuni aventi i due medesimi poli. Essa fu molto notata all'Esposizione universale del 1889 ed all'Esposizione della Società francese di fisica dell'aprile 1890 (fig. 229).

È chiaro che la disposizione elettrica da una parte e le scintille di scarica che saltano fra le diverse parti di una macchina elettrica non permettono di accrescere indefinitamente la carica dei conduttori, la differenza di potenziale dei poli; vi ha un limite rapidamente rag-

giunto. L'elettroscopio *H* di Henley piantato sul conduttore della macchina di Ramsden, per esempio (fig. 211), devia da prima progressivamente, poi si arresta e rimane immobile qualunque sia la velocità di rotazione del disco.

La carica che può fornire una macchina, posta in condizioni definite durante un minuto secondo, si chiama *portata*. Più è grande e più rapidamente raggiunto è il limite della carica, e più intensa è la *corrente elettrica* che essa mantiene in un filo che ne riunisce i poli. Per paragonare approssimativamente la portata di due macchine, si riuniscono i loro poli rispettivi ai due bracci di un eccitatore le cui palle sono alla distanza di pochi centimetri. In una parola, si danno i medesimi poli alle due macchine, poi si mettono successivamente in azione: quella che produce il maggior numero di scintille nel medesimo tempo fra le due palle è quella che possiede la portata maggiore; ed il rapporto del numero delle scintille che quelle due macchine forniscono in eguale periodo di tempo misura all' ingrosso il rapporto delle loro portate. Così si può verificare che la portata di una macchina a strofinio dipende quasi esclusivamente dalle dimensioni della macchina e dalla velocità di rotazione, vale a dire dall'estensione della superficie strofinata in uno stesso tempo; aumentando la pressione dei cuscinetti contro il disco non si modifica punto la portata e, siccome si perde inutilmente parte dell'energia del motore quando l'attrito è forte, si deve studiarsi di renderlo più debole che si possa. Una macchina a influenza, una macchina di Holtz anche di piccole dimensioni, ha una portata che dipende dalla velocità di rotazione, ma che è di gran lunga superiore a quella delle macchine a strofinio. Di più il limite massimo della carica corrisponde ad una differenza di potenziale ai poli assai più grande. Se la differenza di potenziale ai poli regola la lunghezza delle scintille, essa non ne regola guari la grossezza e l'energia.

Quando i poli di una macchina elettrica ed i conduttori coi quali comunicano hanno piccole dimensioni, le scintille che saltano tra essi sono pallide, deboli e poco rumorose.

Per ottenere scintille più poderose fu mestieri aumentare le dimensioni dei conduttori, la loro capacità, cosa che rende le macchine voluminose.

Avventuratamente il caso venne ad insegnare ai fisici, ed a loro spese, come si poteva accumulare, condensare, una forte elettrizzazione su due superficie conduttrici prospicenti, piane, sferiche, cilindriche, ecc., di dimensioni relativamente piccole e separate da una sostanza isolante. Ad un tale apparecchio si dà il nome di *condensatore elettrico* (1).

Fu Von Kleist, decano del capitolo di Camin, in Pomerania, che fece senza volerlo il primo condensatore nel 1745.

Volendo elettrizzare del mercurio contenuto in una bottiglia di vetro, quel prelato piantò nel tappo della bottiglia un'asta di ferro la cui estremità pescava nel mercurio. Poi tenendo la bottiglia con una mano mise l'asta in contatto col conduttore di una macchina. Toccò allora, senza averne l'intenzione, quel conduttore coll'altra mano, e risentì subito una scossa fortissima nel braccio e nel gomito.

(1) *Condensatore*, dal latino *condensare*, comprimere, stringere, rendere denso.

Senza la bottiglia la macchina dava scintille affatto inoffensive. Oggidì la massima parte delle macchine portano costantemente appese al loro conduttore una o due bottiglie (fig. 225, 226, 228, 229 e 239). Si aumenta così l'energia delle scintille, delle scosse, ecc.

L'anno seguente, nel 1746, il medesimo fatto si ripetè a Leida in Olanda.

Il professore Musschenbroek (1) pensando che col racchiudere il corpo da elettrizzare in un inviluppo di vetro perderebbe molto meno presto la sua elettrizzazione che nell'aria, domandò a Cunœus ed Allaman di elettrizzare dell'acqua contenuta in una bottiglia.

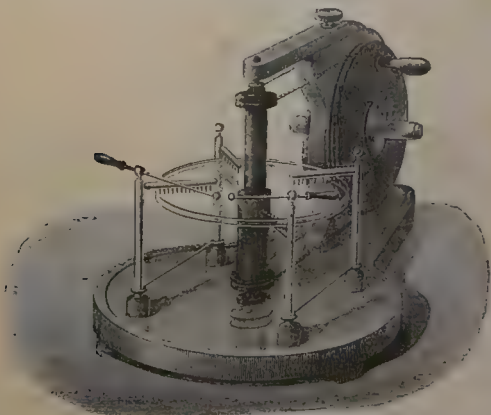



Fig. 227. — Macchina di Holtz (seconda specie).

Cunœus, che teneva la bottiglia con una mano, volendo coll'altra levare la catena metallica che metteva in comunicazione l'acqua ed il conduttore della macchina, provò, come Kleist, una fortissima scossa. Musschenbroek ripetè l'esperienza e la fece conoscere al fisico francese Réaumur con una lettera interessante in data del 20 aprile 1746, che trascriviamo.

« Io vi comunico, scrive Musschenbroek, un'esperienza nuova ma ter-

---

(1) Pietro Van Musschenbroek, nato a Leida (Olanda) nel 1692, dottore in filosofia, dottore in medicina, ebbe a Londra lezioni da Newton di cui adottò le idee; professore di filosofia sperimentale e di astronomia all'Università di Utrecht, membro dell'Accademia delle Scienze. La sua celebrità erasi fatta sì grande, che l'Inghilterra, la Spagna e la Danimarca [illegible] predette brillantissime per attirarselo e giovarsi del suo [illegible] di filosofia: morì nel 1761. [illegible] per ritornare a Leida ad occupare la [illegible] in quei tempi uno dei principali centri scientifici [illegible] fra gli altri un ricco borghese di scienziati che si dedicavano allo studio della elettricità [illegible] chiamato Cunœus, ed il professore di fisica Allaman.

ribile che vi consiglio di non tentare. Io stava facendo alcune indagini sulla forza dell'elettricità, ed a tale scopo aveva sospeso a due fili di seta una canna di ferro, alla quale si comunicava l'elettricità che si svolgeva da un globo di vetro, fatto girare rapidamente mentre lo si sfregava colle mani applicatevi sopra. All'altra estremità pendeva liberamente un filo d'ottone il cui capo era immerso in un vaso rotondo di vetro in parte pieno d'acqua e che io teneva in una mano, mentre coll'altra mi studiavo di trarre scintille dalla canna di ferro elettrizzata. Tutto ad un tratto la mia mano destra fu colpita con tale violenza, che ne ebbi tutto il corpo scosso come da un colpo di fulmine.

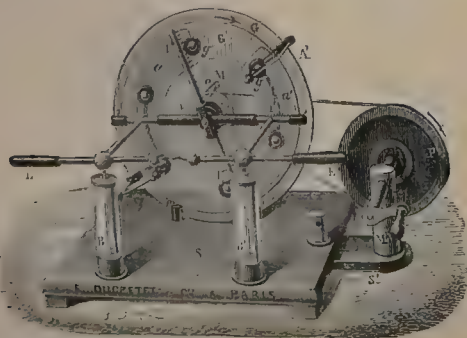



Fig. 228. — Macchina di Voss.

G', Disco fisso. — G, Disco mobile. — F' F'', Conduttore diametrale. — I I', Listerelle di stagno. — a a', Induttori [illegible] — q q, Pastiglie metalliche. — M M', Pilastrini di sostegno. — c c' c'', Sostegni del disco G'. — h, Apertura circolare praticata nel disco fisso per farvi passare l'asse di rotazione. — A A', Conduttore diametrale a spazzole metalliche. — E E', Aste dell'eccitatore. — B B', Bottiglie di Leida. — S S', Base della macchina. — T, Morsetto d'attacco pei fili, l'altro si trova dietro la bottiglia B. — P, Disco o volano il cui movimento obbliga il disco G a ruotare.

Il vaso, benchè fatto di vetro sottile, ordinariamente non si spezza e la mano non è punto spostata da quella scossa; ma il braccio e tutto il corpo ne son impressionati in modo sì terribile che non so come esprimerlo. In una parola, io credeva che per me la fosse finita.

« Ma ecco delle cose ben singolari: quando si fa quell'esperimento con un vaso di vetro d'Inghilterra, l'effetto è nullo o quasi nullo. Fa mestieri che il vetro sia di Germania; non basterebbe nemmeno che fosse d'Olanda. Nulla monta che sia arrotondato, sferoidico, o di qualsiasi altra forma; si può adoperare un bicchiere comune, grande o piccolo, grosso o sottile, profondo o meno, ma è assolutamente necessario che esso sia di vetro di Germania o di Boemia (1). Quello che credetti

(1) Ciò vuol dire unicamente che il vetro [illegible] igrometrica al minimo possibile [illegible] di che diventa conduttore e la bottiglia non agisce più che come un conduttore comune.

mi desse la morte era di vetro bianco e sottile e di cinque pollici di diametro. La persona che eseguisce l'esperienza può essere collocata

Fig. 229. — Macchina di Wimshurst a dodici dischi.

A e *B*, Poli della macchina. — *m m'*, Impugnature isolanti da usarsi per modificare la distanza dei poli. — *Co Co'* Conduttori colleganti i poli ai conduttori più grossi *I I'* ed isolati. — *P P'*, Pettini fissati nei conduttori *I I'*. — *C C'*, Bottiglie di Leida. — *Ba*, Conduttori diametrali muniti di bottoni armati di fili metallici che sfregano sulle piccole lamine di stagno che si veggono disposte in circonferenza sul contorno dei dischi isolanti. — *T*, Rettangolo isolante coperto di polveri conduttrici appiccicatevi con gomma e fra le quali saltano scintille il cui insieme presenta effetti svariati. — La freccia indica il senso della rotazione dei dischi; la manovella è dietro la macchina.

semplicemente sul pavimento, ma è indispensabile che sia la medesima che tiene con una mano il vaso e coll'altra trae la scintilla. Se si mette il vaso sopra un sostegno di metallo collocato sopra un tavolo di legno,

si sente ancora una grave scossa toccando il metallo soltanto colla punta del dito e traendo la scintilla coll'altra mano. »

L'abate Nollet non si lasciò sgomentare dal racconto evidentemente esagerato del fisico olandese. A sua volta ripetè l'esperienza di Leida con un vaso di vetro di Francia, e ciò non impedì che l'esperienza riescisse. « Io sentii, egli disse, sino nel petto e nelle viscere una scossa che mi fece involontariamente piegare il corpo ed aprire la bocca, come avviene negli accidenti nei quali la respirazione è impedita; l'indice della mia mano destra che traeva la scintilla ricevette un urto o una puntura violentissima, il mio braccio sinistro fu scosso e respinto dall'alto in basso, al punto da farmi abbandonare il vaso semipieno di acqua che io teneva brandito. »

La curiosità e l'entusiasmo per quelle esperienze furono spinte a tale grado che Bose (1), professore di fisica all'Università di Wittenberg (Sassonia) diceva: « Io non rimpiangerei di morire per una scossa elettrica, poichè il racconto della mia morte fornirebbe materia d'un articolo alle *Memorie* dell'Accademia reale delle scienze di Parigi. »

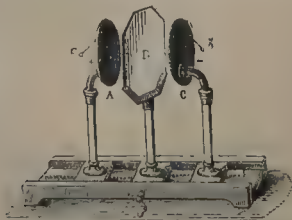



Fig. 230. — Condensatore d'Epino.

La figura 186, estratta dal « Saggio sull' elettricità » mostra il sistema seguito da Nollet nell'operare. Esso non differisce punto da quello indicato dal fisico di Leida nella lettera diretta a Réaumur.

La « bottiglia di Leida » come la chiamò Nollet, divenne presto popolare, tutti volevano provare il gusto di sentire la « scossa elettrica. »

Per compiacere più presto ai suoi visitatori, Nollet faceva che si dessero la mano in guisa da formare una catena. Egli si metteva ad un capo della catena tenendo la bottiglia di Leida elettrizzata nella sua mano libera. La persona situata all'altra estremità si avvicinava di poi

(1) Giorgio Mattia Bose, nato a Lipsia nel 1710, morto nel 1761, autore di diverse opere sull'elettricità, l'astronomia e la medicina, e fra le altre di una *Descrizione poetica della elettricità della sua scoperta in poi* (Vittenberg, 1744), che fu tradotta in versi francesi. Una delle sue esperienze è nota sotto il nome della *Beatificazione di Bose*. Facendo arrivare l'elettricità [illegible] una persona isolata sopra una stiacciata di resina, Bose asseriva di aver veduto [illegible] e sino alla testa una fiamma che circondava poi questa di [illegible]. Il medico inglese William Watson, autore delle [illegible] scrisse a Bose, il quale confessò che la « beatificazione » non si operava che facendo indossare al soggetto una corazza e mettendogli in testa un elmo metallico.

per chiudere il circolo, indi colla mano libera toccava l'asta conduttrice immersa nella bottiglia. Fu in questa guisa che si fece l'esperimento a Versaglia sotto gli occhi di Luigi XIV e della sua corte; la catena era formata da una compagnia di guardie francesi, ossia da duecento quaranta soldati. Ognuno di essi sentì la scossa prodotta sui muscoli dalla scarica.

La moda divenne tale, che si fecero bottiglie di Leida a foggia di mazza o bastone, di un oggetto usuale qualunque e colle quali ognuno metteva alla prova la pazienza dei proprii amici.

Il dottore inglese Bevis trovò, nel 1747, che una lastra di vetro di un piede quadrato coperta da una sottil lamina metallica sulle sue due faccie era un condensatore altrettanto buono quanto una bottiglia di Leida di una mezza pinta piena d'acqua. Beniamino Franklin ed Epino fecero coi quadri elettrici numerose esperienze, ed Epino (1) inventò il condensatore che porta il suo nome. Esso consta (fig. 230) di due piatti

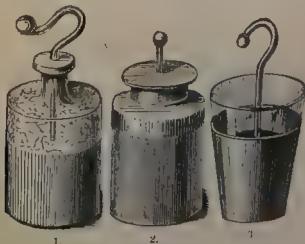



Fig. 231. — Bottiglie di Leida.

1. Bottiglie ad armatura fissa. — 2. Giarra. — 3. Bottiglie ad armature mobili.

metallici A C sostenuti da colonne di vetro ed ai quali sono attaccati due pendoli elettrici $a\,b$. I due piatti sono separati da una lastra di

(1) Ulrico Teodoro Æpinus, nato a Rostock (Germania) nel 1724, morto in Livonia nel 1802; chiamato a Pietroburgo per professarvi la fisica; la sua opera principale è un *Saggio della teoria dell'elettricità e del magnetismo* (1787). Epino scoprì la singolare proprietà della tormalina, pietra composta di silice, d'allumina, di ferro e di manganese, che si rinviene nelle roccie primitive nelle montagne della Svizzera, della Spagna, dell'Italia e del Tirolo. Epino notò che la tormalina godeva la proprietà di elettrizzarsi per l'azione del calore, *positivamente* ad una delle sue estremità, *negativamente* all'altra, ed ammise alla tormalina poli positivi e negativi come alla pietra da calamita. Dopo Epino i fisici che studiarono quel cristallo riconobbero che la tormalina, scaldata gradatamente, prende un'elettrizzazione che aumenta sino a cento gradi, poi che diminuisce sino a divenir nulla; ma continuando a scaldarla, l'elettrizzazione ricompare, e questa volta l'estremità che prima si era elettrizzata *positivamente* si elettrizza *negativamente*, e l'estremità che portava l'elettrizzazione *negativa* porta un'elettrizzazione *positiva*. Un fenomeno analogo si presenta quando la tormalina, dopo essere stata scaldata, viene abbandonata al raffreddamento: l'estremità *positiva* diventa *negativa* e viceversa. L'azione del calore non è punto necessaria, basta comprimere una lamina di tormalina parallelamente al suo asse perchè le faccie normali a quell'asse assumano elettrizzazioni di nomi contrarii; se dopo aver compresso la lamina, la si decomprime, si produce l'effetto inverso. Mallard nel suo *Trattato di cristallografia* menziona questo fenomeno. Quando si spezza un prisma di tormalina che sta scaldandosi o raffreddandosi e che per conseguenza possiede due poli di nome contrario, *cadaun frammento possiede due poli*, come avrebbe luogo pei frammenti di una calamita.

vetro B. Per mezzo di una manovella e di un'asta dentata si può avvicinare A e C a B ed anche applicarli su B.

Nelle indagini da laboratorio si impiegano spesso condensatori piani (fig. 224) che hanno conservata la forma di lastra, ma al vetro viene generalmente sostituita la mica o la carta paraffinata.

Le bottiglie di Leida primitive vennero successivamente modificate.

L'interno delle bottiglie di Leida attuali è riempiuto per due terzi circa di foglie di stagno o d'oro cantarino I, sgualcite ed opportunamente ammucchiate (fig. 211 e 231).

In quelle foglie è immerso un conduttore C terminato da una palla a e piantato nell'asse del turacciolo B della bottiglia.

Sulla faccia esterna della bottiglia si incolla una foglia di stagno lasciando nuda la parte superiore che vien verniciata con gomma lacca o spalmata di cera da suggellare, in guisa da impedire alle scintille di saltare fra le foglie I ed E seguendo la superficie della bottiglia.

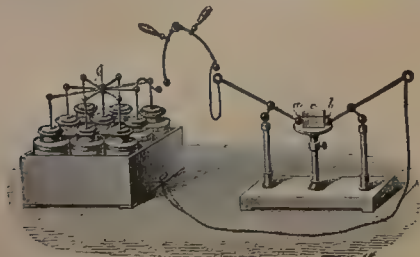



Fig. 232. — Volatilizzazione di un filo metallico $a\,b$ per effetto della scarica di una batteria di bottiglie di Leida: l'oro polverulento lascia una traccia nera nella carta c.

Il vetro condensa, infatti, molto facilmente l'umidità dell'atmosfera e per questo fatto diventa conduttore.

Quando si fa uso di vasi molto larghi che si chiamano giarre elettriche, si incolla nell'interno una foglia di stagnuola messa in comunicazione per mezzo di molle che la premono o da foglie metalliche col conduttore.

Il conduttore I (mercurio, acqua, foglie di stagno, d'oro cantarino, ecc.) posto nell'interno della bottiglia si chiama armatura interna; il conduttore esterno E, vale a dire la foglia di stagno incollata, ovvero — come nelle prime bottiglie — la mano, costituisce l'armatura esterna.

Spesso l'armatura interna, che si mette generalmente in comunicazione colla macchina, si chiama collettore.

Si fabbrica rapidamente una bottiglia di Leida mettendo granelli di piombo o pallini da caccia in un vaso di vetro bene asciutto. Quella è l'armatura interna. Si tuffa nel piombo un cucchiajo che fa l'ufficio del conduttore C, poi si prende la bottiglia con tutta la mano e questa è l'armatura esterna.

Per elettrizzare, per caricare una bottiglia di Leida per mezzo di una macchina Ramsden, la si appende al conduttore della macchina, dopo di che si mette l'armatura esterna in comunicazione colla terra per mezzo di una catena che vi è attaccata, o più semplicemente tenendo la bottiglia in mano.

Fig. 233. — Eccitatore.

Colle macchine di Holtz, di Voss, di Wimshurst, ecc., si collega l'una delle armature della bottiglia al polo positivo della macchina e l'altra armatura al polo negativo.

Per scaricare, diselettrizzare rapidamente la bottiglia senza inconvenienti, si fa uso di un piccolo apparecchio chiamato eccitatore (fig. 233 e 232). Esso è formato da due aste conduttrici articolate come le due lame di una forbice, terminate ad una delle loro estremità da palle ed all'altra da impugnature isolanti, generalmente di vetro.

Fig. 234. — Grande eccitatore universale.

B C, *B' C'* Aste dell'eccitatore mobili secondo l'asse delle palle *A A'*. — *a a'*, Bottoni di pressione che servono ad immobilizzare le aste che si possono far girare intorno ad assi orizzontali. — *O O'* Palle alle quali si attaccano i fili che vanno all'eccitatore. — Le aste secondarie *D F D' F'* terminate da palle, possono scorrere nell'interno delle palle *B B'*. — Al posto delle palle *B B'*, *D D'*, *F F'* si possono attaccare a vite sfere *G K*, matite di carbone *M*, pinzette *Q*, punte *I*, dischi *P*, sostegni quali *L* ed *F*.

Per servirsene si piglia l'eccitatore per le impugnature, si mette una delle palle in contatto coll'armatura esterna della bottiglia e si avvicina l'altra palla al bottone della bottiglia. Fra le palle scocca una

scintilla quando la loro distanza diventa sufficientemente breve. È la scintilla di *scarica* (1).

L'esperienza dimostra che quella scintilla è tanto più poderosa quanto più sottile è il vaso di vetro che separa le armature e le superficie delle armature più grandi.

Non è punto pratico fare bottiglie troppo sottili o di superficie troppo grande.

Si arriva al medesimo risultato associando opportunamente un certo numero di bottiglie comuni e formando delle batterie.

La figura 232 rappresenta una batteria di nove bottiglie *associate in superficie* che si scarica coll'eccitatore.

Si associano in eguale maniera condensatori di forma qualunque.

Le aste conduttrici riuniscono tutte le armature interne della bottiglia alla palla.

Una foglia di stagno che tappezza le pareti della cassetta che contiene le bottiglie ne mette tutte le armature esterne in comunicazione colla impugnatura metallica dalla quale si diparte una catena che va al suolo. La palla e l'impugnatura sono i due poli della batteria.

Una batteria si carica e scarica nel modo che fu spiegato per una sola bottiglia; la palla fa l'ufficio dell'armatura interna e l'impugnatura quello dell'armatura esterna (fig. 232).

Franklin ha indicato un altro modo di disporre le bottiglie dal quale non potè trarre grande vantaggio. Esso è indicato sotto il nome di *Associazione per cascata* e corrisponde all'accoppiamento delle pile in serie.

L'armatura interna della prima bottiglia è libera; la sua armatura esterna è riunita mediante un'asta od una catena metallica all'armatura interna della seconda bottiglia. L'armatura esterna di questa seconda bottiglia comunica istessamente coll'armatura interna della terza, e così via dicendo sino all'ultima bottiglia la cui armatura esterna è libera.

L'*energia potenziale* immagazzinata in una bottiglia di Leida o in una batteria è fornita dal motore che mette in movimento la macchina impiegata per la carica.

Codesta *energia potenziale*, trasformandosi in *energia cinetica* per effetto della scarica, dà luogo ad effetti svariatissimi che si mettono in evidenza con certe esperienze classiche che vogliamo brevemente descrivere.

Ecco qua prima d'ogni altro l'*apparecchio di Kinnersley* per mezzo del quale si rende visibile la scacciata dell'aria dovuta alla scarica.

Due aste di rame terminate da due piccole palle (fig. 235) sono disposte una contro l'altra e secondo l'asse di un tubo di vetro che comunica con un altro tubo di vetro più stretto e situato lateralmente. Sul fondo di quei tubi fu versata acqua. Appena che la scintilla di scarica scocca fra le palle in seno all'aria, si vede subito l'acqua del tubo largo passare improvvisamente nel tubo stretto.

Se il primo tubo esistesse solo e fosse pieno d'acqua, la scarica lo spezzerebbe.

Se la scintilla scocca fra due punte (fig. 236) separate da una lastra

(1) Si può far uso dell'eccitatore universale per buon numero di esperienze (fig. 234

di vetro o da un biglietto di visita, la lastra o il biglietto si trovano forati. Una bottiglia di Leida viene spesso forata dalla scarica da una armatura all'altra attraverso il vetro.

Il foro della carta presenta una particolarità singolare: la carta è sollevata da ambe le parti, cioè sopra ciascuna faccia, come se la scintilla fosse partita dalla metà della grossezza della carta.

Per forare agevolmente lastre di vetro di parecchi centimetri di spessore ed evitare che la scintilla giri intorno alla lastra, si fa uso del *fora-vetro* di Terquem (fig. 237).

La scarica di una batteria si può adoperare anche per fulminare animali, per appiccare il fuoco a sostanze infiammabili: etere, alcool, polvere, ecc. Il *calore sviluppato* dalla scarica è sufficiente per volatilizzare un filo metallico. Le disposizioni da darsi a questa esperienza sono indicate dalla figura 232.

Fig. 235. — Apparecchio di Kinnersley.

Allorchè la volatilizzazione di un filo F (fig. 238), ha luogo in seno all'acqua, questa viene projettata con violenza ed il vaso di vetro V di sovente è spezzato. Questa esperienza vien detta della *torpedine elettrica*. Quando la scarica si effettua così attraverso un filo, prende il nome di *scarica conduttrice o conduttiva.*

Ma di tutto ciò il fatto più notevole si è questo, che utilizzando la energia potenziale di una batteria riesce possibile di mettere in rotazione una macchina elettrica.

Poggendorff mostrò per il primo che se, dopo aver caricato una batteria per mezzo di una macchina di Holtz, si fa saltare la cigna che passa sulle diverse ruote della macchina in guisa da diminuire le resistenze, la batteria si scarica, e si scarica facendo girare il disco in senso contrario al movimento che gli si era impresso all'atto della carica.

Questa inversione del movimento la si comprende senza difficoltà se si nota che la batteria resiste quando la si carica; essa si oppone al

movimento della macchina. Essa tende ad elettrizzare gli organi della macchina, fissi o mobili, in guisa tale che tra essi si esercitano ripulsioni rispetto al movimento impresso al disco.

L'esperimento si può fare altrimenti evitando di passare per l'intermediario di una batteria.

Si prendono due macchine ad influenza (Holtz, Voss, Wimshurst) (fig. 242) e si riuniscono rispettivamente per mezzo di aste metalliche i due poli della prima macchina ai due poli della seconda. Appena che si mette in movimento la prima macchina, la seconda gira ancor essa, ma la sua rotazione avviene in senso inverso a quello che seguirebbe nel suo cammino normale.

La macchina sulla quale si spende l'energia del motore e che trasforma quella energia in energia elettrica si chiama un *elettro-motore* od anche una macchina generatrice d'elettricità; la seconda macchina,

Fig. 236. — Fora-vetro o fora-carta.

cioè quella messa in movimento dall'elettricità della generatrice, si chiama al contrario un *motore-elettrico* od anche *ricevitrice*, nel riflesso che essa riceve elettricità dalla generatrice. Ben inteso che la medesima macchina può servire indifferentemente da elettro-motore e di motore-elettrico, da generatrice e da ricevitrice; perchè in conclusione essa è *reversibile*.

Questo esempio ci mostra già come si possa immagazzinare l'*energia elettrica* in una batteria o trasportare l'*energia meccanica* da un luogo all'altro.

Noi siam dunque in possesso di due generatori d'elettricità:

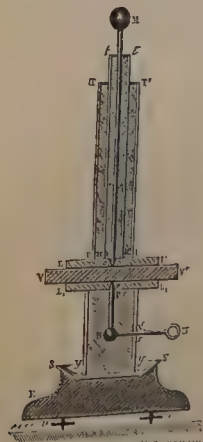
1.° La pila che ci servì in telefonia;

2.° Le macchine elettriche che abbiamo descritto e che si chiamano spesso *macchine elettro-statiche* per distinguerle da altre macchine più moderne che si basano sull'induzione prodotta dai campi magnetici e che studieremo più innanzi.

Ciò che a prima giunta attrae la nostra attenzione è il fatto che una

pila può a malapena dare scintille fra le due palle di un eccitatore i cui bracci comunichino coi poli della pila, anche nel caso che le palle sieno molto vicine, mentre le macchine elettriche possono dare lunghe scintille.

Siccome poi la lunghezza delle scintille dipende dalla differenza di potenziale stabilita dall'elettro-motore fra le due palle dell'eccitatore, si vede che la pila determina una debole differenza di potenziale, mentre le macchine elettriche ne producono una forte. Questi fatti si enunciano dicendo che la pila è un generatore di elettricità a *basso potenziale* e la macchina elettro-statica un generatore ad *alto potenziale*.

Fig. 237. — Fora-vetro di Terquem.
VV' Lamina di vetro da perforare e compresa fra due altre lamine di vetro LL' LL' che lasciano passare in oo' le punte che formano le estremità dei due rami $MPNBP'$ dell'eccitatore. Quelle aste sono contornate da tubi di vetro tt' uu' TT' tt' pieni di una mescolanza di cera e di resina fusa. — ESS', Sostegni. — pp', Viti per orizzontare l'apparecchio.

Ma, per compenso, la pila fornisce molta elettricità; essa ha una portata incomparabilmente più grande di una macchina elettro-statica. Del resto se da una pila si vogliono ottenere lunghe scintille, vale a dire elettricità ad alto potenziale, si può, sull'esempio di Planté, caricare colla pila un gran numero di condensatori piani associandoli in superficie, e scaricarli accoppiandoli in cascata. La macchina reostatica di Planté è basata su questo principio.

Il **rocchetto di induzione** conduce al medesimo risultato, ed ora ne vedremo il come.

La disposizione degli organi fondamentali di un rocchetto di induzione fu spiegato nel capitolo dedicato al telefono.

La *corrente induttrice* proveniente da una pila circola nel *filo pri-*

mario e le sue variazioni di intensità determinano nel *filo secondario*, che è chiuso sopra sè stesso, *correnti indotte* il cui senso si riconosce agevolmente per mezzo di un ago calamitato e della regola di Ampère (nota pag. 98).

Osservando la deviazione di un ago calamitato prodotta dalla corrente induttrice e dalla corrente indotta, poi assestando sopra cadaun circuito un fantoccio d'Ampère in guisa che, guardando l'ago, abbia il polo nord di quello alla sua sinistra, si riconosce che le correnti induttrice ed indotta hanno il *medesimo senso* nei due rocchetti quando la corrente indotta proviene da *una diminuzione*, da un indebolimento della corrente induttrice, e che hanno *sensi opposti* quando la corrente indotta proviene da *un aumento*, da un accrescimento di intensità della corrente induttrice.

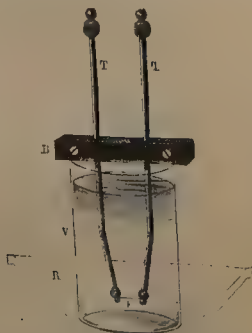



Fig. 238. — La torpedine elettrica.

V, Vaso di vetro contenente acqua. — B, Sostegno delle aste TT che si mettono in relazione coi poli della batteria da scaricare. — F, Filo da volatilizzare. — R, Catino che riceve l'acqua del vaso V quando si spezza.

Nel primo caso, la corrente indotta dicesi di *senso diretto*, o più brevemente *diretta*; nel secondo caso, *inversa*.

In telefonia, le variazioni della corrente induttrice risultano dalle vibrazioni del trasmissore intercalato nel circuito primario.

Nel rocchetto di induzione perfezionato da Masson, Bréguet (1842), Fizeau Foucault, ecc., e che fu costrutto con perfezione sì rara da Ruhmkorff (1851) di cui porta il nome, la corrente induttrice è *alternativamente lanciata e soppressa* nel filo primario per mezzo del giuoco di un organo che si chiama interruttore e che adempie al medesimo ufficio del diapason della figura 89 (pag. 101).

Si lancia la corrente della pila nel rocchetto primario? Da principio essa è nulla, poi aumenta progressivamente ed in una frazione di secondo raggiunge la sua grandezza normale. *Codesto stabilirsi, codesto crescere* per gradi della corrente induttrice genera nel filo secondario una *corrente indotta inversa.*

La corrente induttrice viene soppressa? Essa diminuisce e cade rapidamente, non per altro istantaneamente, a zero. Codesta *scomparsa* della corrente induttrice genera nel filo secondario una *corrente indotta diretta.*

Giova notare che non è possibile far sì che una corrente prenda istantaneamente il suo valore normale od un valor nullo, come non è possibile di far assumere in un subito ad una locomotiva la sua velocità regolamentare od una velocità nulla: la marcia normale, come anche la fermata, sono sempre precedute da uno stato variabile, da uno stato di transizione. Lo stesso si dica dello stabilirsi e del cessare di una corrente.

Lo stato di transizione, lo *stato variabile*, è il solo prezioso dal punto di vista che ci occupa, poichè è desso che provoca le correnti indotte, le quali non esistono più quando la corrente induttrice diventa stazionaria, invariabile.

Mercè l'interruttore, quello stato stazionario non può prodursi, non ne ha il tempo, e per conseguenza il filo secondario è percorso senza tregua da correnti alternative dirette ed inverse.

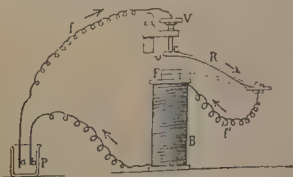



Fig. 239. — Principio degli interruttori elettrici.

Le correnti che si succedono così rapidamente in un filo, in guisa tale che due correnti consecutive vi circolino in senso contrario, si chiamano *correnti alternative.*

Vediamo ora come funzioni l'interruttore. Le forme di questo apparecchio sono svariatissime, ma il principio generale è questo: Una pila *P* (fig. 239) fornisce una corrente che segue il filo *f*, passa in una vite metallica *V* e da questa in un pezzo di ferro dolce *v*, poi in una lamina *R* che agisce come una molla ed alla quale è attaccato il ferro dolce *v*. La corrente passa dalla molla nel filo *f'* e da questo nel circuito del rocchetto *B* e finalmente ritorna alla pila in *b*.

Nel momento che la corrente passa nel rocchetto, essa magnetizza il ferro dolce *F* che costituisce l'anima o nucleo del rocchetto stesso. Questo calamitatosi attrae *v* che apre il circuito in *c*; la corrente quindi non può più passare. Ma allora il ferro dolce *F* cessa dall'essere magnetico, non attrae più, e la molla *R* rimanda *v* a contatto della vite *V*. La corrente circola di nuovo e dà luogo al ripetersi degli effetti precedentemente indicati.

Regolando la forza della molla *R*, le sue dimensioni, il grado di pressione della vite *V* sul contatto *c*, si farà variare il periodo delle chiusure e delle interruzioni della corrente per mezzo della corrente medesima (interruzioni automatiche).

Se la molla R portasse un martelletto che potesse battere sopra un campanello, si avrebbe una soneria elettrica che agirebbe per tutto il tempo che la pila P continua ad agire (fig. 240).

Spesso alla lamina vibrante R si sostituisce, come fece De la Rive di Ginevra (fig. 241), un martello M raccomandato all'estremità di un braccio, mobile senza attrito intorno ad una cerniera O. Essendosi stabilite le comunicazioni come precedentemente, la corrente passa e magnetizza per conseguenza il ferro dolce F. Questo allora attrae il martello M ed apre il circuito, la corrente non passa più, il ferro dolce F

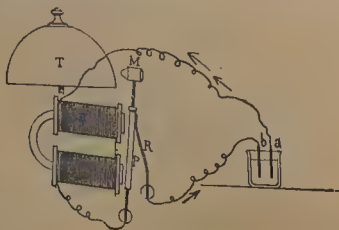



Fig. 240. — Interruttore da campanello (soneria elettrica).

si smagnetizza ed il martello ricade sull'incudine E e chiude nuovamente il circuito. In questo caso il peso del martello fa il medesimo ufficio che la tensione della lamina R nel caso precedente.

Altri interruttori sono basati sul principio seguente:

Abbiasi una ruota di vetro (fig. 243) circondata alla periferia da un anello metallico continuo sull'orlo A e dentellato sull'orlo B. La cor-

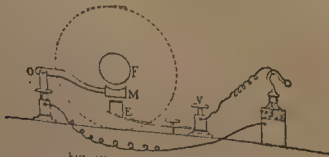



Fig. 241. — Interruttore a martello.

rente della pila P passa quando la molla B' preme sopra un dente metallico della ruota; ma ogni volta che la ruota girando presenta uno spazio nudo alla molla B, questa tocca il vetro e la corrente non passa più; la molla A' preme sempre sul lembo continuo dell'anello. Questa ruota è dovuta a Pouillet. Gordon se ne servì per produrre nella corrente induttrice di un rocchetto circa 6000 interruzioni per secondo. Alla ruota di vetro qualche volta si sostituisce un disco di rame, svasato secondo un certo numero di settori ed i cui vuoti sono occupati da lamine di ebonite.

Per mettere in azione od arrestare senza inconvenienti il rocchetto di induzione, si impiega un congegno chiamato *commutatore*, e tale denominazione fu imposta a quel piccolo apparecchio, perchè consente di cambiare a piacimento il senso della corrente induttrice, consente di rovesciarla.

Vi sono commutatori di specie svariatissime. Uno dei più semplici e comodi è dovuto a Ruhmkorff. Esso consta (fig. 244) di un cilindro isolante di ebonite coperto in parte da due lamine metalliche M' N' diametralmente opposte. Il cilindro è mobile intorno ad un asse interrotto nel suo mezzo, e portato dai sostegni conduttori S S, cui sono applicati i serrafili A B, ai quali mettono capo i fili della pila. Una metà dell'asse comunica colla lamina M' per mezzo della vite m, l'altra metà colla

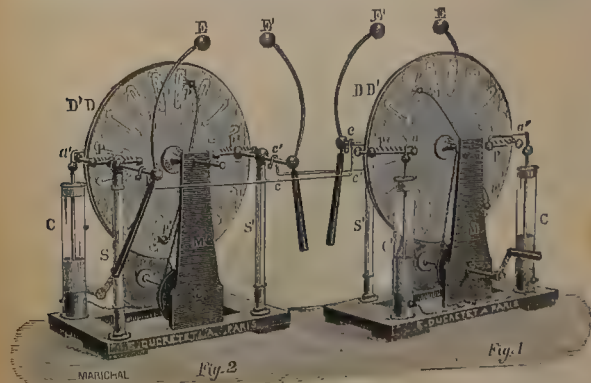



Fig. 242. — Trasmissione dell'energia a distanza per mezzo di due macchine Wimshurst. D D', Dischi della macchina mobili in senso contrario. — E E', Poli. — M M' S S', Sostegni dei diversi pezzi. — p p', Spazzole alle estremità del conduttore diametrale. — a c' a c, Bottiglie di Leida. — P P', Pettini. — C C' C' C, Conduttori in forma di aste che riuniscono i poli delle due macchine. L'una presenta la faccia ove è la manovella e l'altra la faccia opposta.

lamina N' per mezzo della vite n. Stando così le cose, la lamina M' è costantemente in relazione, mettiamo, col polo positivo della pila, e la lamina N' col polo negativo. Ecco il commutatore: Come si fa a servirsene? Due serrafili F G (fig. 245) ai quali sono attaccate le estremità del filo che deve ricevere la corrente della pila, sono continuati da due linguette L L' che arrivano all'altezza dell'asse del commutatore del quale toccano la superficie.

Nella posizione 1 (fig. 245) le linguette toccano la parte isolante del commutatore, quindi nel filo f non passa nulla.

Nella posizione 2 le linguette appoggiansi sulle lamine M' N' e la corrente circola nel filo f da F verso G.

Nella posizione 3 la corrente circola invece in f da G verso F, poi-

chè va sempre dal polo + al polo — della pila attraverso il filo che riunisce i due poli.

Il commutatore Bertin in forma di lira fu adattato da Ducretet al rocchetto di Ruhmkorff (fig. 246 e 247).

Le estremità del filo nel quale si vuol lanciare la corrente della pila sono in questo caso attaccate a due pezzi metallici b b' muniti di molle r r'. Nella posizione indicata dalla figura, la lira che è collegata al polo negativo N della pila tocca alla molla r'; il conduttore o, stabilito nel centro del disco isolante che sostiene il commutatore, comunica, mediante una lamina metallica in parte nascosta dal disco, col polo positivo P della pila. In tali condizioni la corrente si muove da r verso r' nel filo attaccato in b b'. Facendo girare il commutatore intorno all'asse, per mezzo del manubrio m, si guida il conduttore fra r r'; non vi ha più contatto e quindi la corrente è interrotta. Essa viene ristabilita in senso contrario se si mette e in contatto con r ed o in contatto con r'.

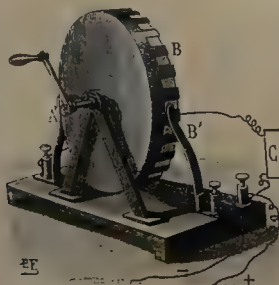



Fig. 213. — Interruttore girante. (Ruota di Poulliet.)
La corrente partendo dal polo + attraversa il circuito C e si porta al serrafilo ed alla molla A', quando B' passa sopra un dente dell'anello poi segue il lembo continuo A dell'anello e ritorna al polo —.

Ormai noi conosciamo tutti gli organi di un *rocchetto di Ruhmkorff* (fig. 248). Esso comprende un rocchetto primario composto di un filo relativamente grosso e corto le cui estremità mettono capo in f f' e di là ai serrafili b b' ai quali si attaccano i fili che vengono dai poli della pila, un filo secondario molto lungo e molto fine che termina in A ed in B, un nucleo di fili di ferro dolce verniciati introdotto nell'asse, un interruttore automatico LM della corrente induttrice, ed un commutatore C per far agire o sospendere l'azione del rocchetto.

Non è già come macchina atta a dare correnti alternative che il rocchetto di Ruhmkorff è un istrumento prezioso, bensì come apparecchio il quale trasforma la piccola differenza di potenziale presentata dai due poli della pila che fornisce la corrente induttrice, una in grande differenza di potenziale fra le due palle di un eccitatore portato da colonnette di vetro (o semplicemente fra le due estremità del filo secondario).

A tal uopo, in luogo di attaccare l'una all'altra le due estremità del

filo secondario, si attacca ogni singolo capo del filo alle due aste dell'eccitatore.

In tali condizioni, il rocchetto di Ruhmkorff può dar luogo ai medesimi effetti che ottengonsi dalle macchine elettriche precedentemente studiate.

È della massima importanza il sapere che essendo la soppressione della corrente assai più rapida del suo stabilirsi, la corrente indotta diretta è assai più intensa che non sia la corrente indotta inversa. La

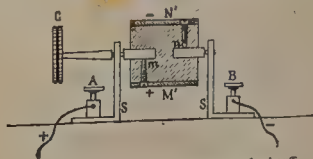



Fig. 211. — Sezione del commutatore Ruhmkorff.

corrente diretta stabilisce fra le due palle dell'eccitatore una differenza di potenziale assai più grande che quella relativa alla corrente inversa. Perciò appena che la distanza delle due palle (o delle due estremità del filo) assumerà un valore sufficiente passeranno sole le scintille di induzione dovute alla soppressione della corrente induttrice.

In queste condizioni, è sempre la medesima palla che, quando scocca la scintilla, ha il potenziale più alto; essa è il *polo positivo* del rocchetto; l'altra palla dell'eccitatore è il *polo negativo* (1). Ben inteso che

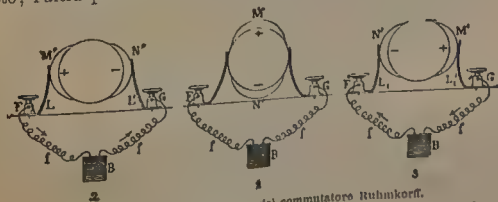



Fig. 215. — Posizioni diverse del commutatore Ruhmkorff.
1. La corrente non passa nel circuito (B). — 2. La corrente va da *F* verso *G*.
3. La corrente va da *G* verso *F*.

tutti i punti del filo secondario hanno potenziali che vanno gradatamente decrescendo dal polo positivo al polo negativo, vale a dire da una estremità all'altra del filo.

Coi primi rocchetti si ottenevano scintille di piccola lunghezza. La differenza di potenziale stabilitasi fra i due bracci dell'eccitatore

---

(1) Il *polo positivo* di una pila, d'un elettromotore qualunque, è l'estremità che è al potenziale più alto; l'altra estremità è il *polo negativo*.

e dalla quale dipende la lunghezza della scintilla è tanto maggiore quanto più breve è il tempo che si spende a produrre l'interruzione della corrente induttrice.

Ora il fenomeno, detto dell'*extra corrente di rottura*, che ha origine nelle spire del filo primario, quando si interrompe la corrente induttrice, ha per effetto di diminuire l'istantaneità di questa interruzione.

Vediamo in che cosa consiste l'*extra corrente di rottura*.

La prima osservazione che si colleghi a questo fenomeno fu fatta nel 1832 da Henry. Le estremità di due fili da cinque a sei metri di lunghezza, raccomandate rispettivamente a due poli (+ e —) di un'aggregato in serie di alcune pile, erano tuffati in un vasetto G (fig. 249) contenente mercurio destinato a chiudere il circuito.

Ritirando uno dei fili dal vasetto, Henry osservò che si produceva una scintilla che saltava fra il mercurio ed il filo. Quella scintilla è tanto più brillante quanto più grande è la lunghezza dei fili, ovvero,

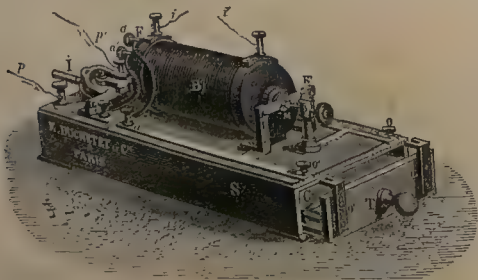



Fig. 250. — Rocchetto smontabile di Ducretet.

a lunghezza eguale, quanto maggiore è il numero di spire vicine che presentano. La scintilla aumenta ancora se si introduce un nucleo di ferro dolce secondo l'asse delle spire. La rottura del circuito della pila può del pari dar luogo a scosse. Per sentirle basta nell'esperienza precedente toccare con una mano il mercurio del piattello e coll'altra il filo che se ne ritira.

Verso la medesima epoca, Pouillet provò gli effetti di quella scossa alla Facoltà delle scienze di Parigi: avendo aperto il circuito di una grande elettro-calamita prendendo nelle mani le estremità dell'elica magnetizzante, che erano tuffate in una capsula piena di mercurio, ricevette una scossa violentissima e che era ben lontano dall'aspettare.

Faraday ha stabilito che la scintilla e la scossa che accompagnano la rottura del circuito della pila provengono da una corrente indotta in quello stesso circuito dalla cessazione della corrente fornita dalla pila. La si chiama *extra corrente di rottura*. Essa circola nel medesimo senso della corrente primitiva ed ha per conseguenza l'effetto di prolungare quella corrente. Essa la prolunga anche in un modo più

diretto, ed ecco il come. La scintilla dell'extra corrente contiene vapori metallici strappati alle estremità del filo e scalda l'aria che incontra; per tali ragioni è conduttrice, e per il tempo che dura tutto avviene come se un filo di grande lunghezza fosse intercalato fra le due estremità del filo che essa riunisce; il che è quanto dire che la corrente della pila passa attraverso alla scintilla, ma con intensità minore che prima della rottura. Risulta da ciò che in forza della rottura

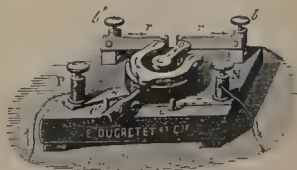



Fig. 247. — Commutatore a lira di Bertin.

del circuito la corrente della pila si estingue in un tempo brevissimo, ma non mai subitaneamente.

Nel rocchetto di induzione si riconosce con tutta chiarezza la scintilla d'extra corrente fra i due organi che costituiscono il contatto interruttore. Siccome poi tutto ciò che nuoce alla istantaneità della scomparsa della corrente induttrice è cagione di indebolimento pel rocchetto,

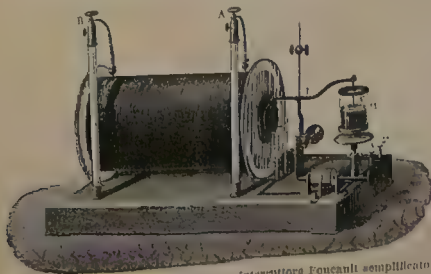



Fig. 248. — Rocchetto di Ruhmkorff con interruttore Foucault semplificato

si studiò di diminuire, per quanto era possibile, la scintilla d'extra corrente che prolunga il periodo di induzione. Di più quelle scintille guastano rapidamente la superficie dell'interruttore il che nuoce al buon funzionamento dell'apparecchio.

Fizeau, nel 1853, ottenne un risultato favorevole riunendo rispettivamente con due fili due punti del circuito primario presi da una parte e dall'altra dell'interruttore, o vicino ad esso, alle armature di un con-

densatore. In questa maniera il condensatore viene intercalato nel circuito primario appena si produce l'interruzione; e l'energia dell'extra corrente, che prima si consumava nella scintilla di rottura, si trova per la massima parte impiegata a caricare il condensatore. Se la scintilla non è completamente soppressa, è per altro notevolmente diminuita, e le correnti indotte nel filo secondario sono molto più intense.

Appena la piccola scintilla che ancora rimane cessa all'interruttore, il condensatore si scarica e produce una corrente di senso contrario a quella che dà la pila; per conseguenza esso tende a rimettere il rocchetto nel suo stato normale smagnetizzando il nucleo centrale del rocchetto. Infatti è noto che due correnti di senso contrario calamitano un'asta di ferro dolce in maniera opposta.

Nel 1856, Foucault, inspirandosi alle osservazioni fatte da Poggendorf verso il 1840, riuscì a indebolire assai la scintilla di rottura producendo l'interruzione fra mercurio ed una punta tuffata nell'alcool assoluto, liquido cattivo conduttore e il cui potere raffreddante, ben più notevole di quello dell'aria, condensa rapidamente i vapori metallici dei quali abbiamo spiegato l'ufficio conduttore.

Nell'interruttore Foucault (fig. 251) una pila sussidiaria P invia una corrente nell'elettro-calamita E per l'intermediario di un commutatore M; quella corrente segue la freccia piena, passa in particolare in un vaso V, e dal mercurio che è in fondo al vaso ad una punta b; sul mercurio galleggia dell'alcool. Appena la corrente passa, l'elettro si magnetizza, attira il ferro dolce C e fa oscillare verso destra la lamina-molla R che porta la leva $C\,b\,b'$. Allora la punta b è sollevata e la corrente della pila P è interrotta; in conseguenza di ciò l'elettro si smagnetizza, la molla R riconduce la leva nella sua posizione iniziale e la medesima manovra continua indefinitamente. Ma la leva ne' suoi movimenti si tira dietro l'asta b' che è situata in un vaso V' identico al vaso V. La corrente induttrice che viene dalla pila P per portarsi nel circuito primario del rocchetto B segue la via tracciata dalla freccia punteggiata.

In particolare, essa attraversa il vaso V' quando la punta b' ed il mercurio si toccano. Ora, il contatto è periodicamente interrotto dalla vibrazione della molla R trattenuta dalla elettro E. L'interruzione della corrente è per tal modo assicurata; di più, essa si produce in seno all'alcool assoluto che galleggia sul mercurio del vaso V' e che agisce come si è detto.

Abbiamo veduto (pag. 78) che la calamitazione del nucleo di ferro dolce di un rocchetto per virtù della corrente induttrice accresce di molto l'intensità della corrente indotta; ma se l'interruzione della corrente induttrice è troppo repentina, la calamitazione non ha il tempo di svilupparsi a sufficienza nel nucleo, sopratutto se il nucleo stesso ha grandi dimensioni: per questo fatto la corrente indotta si trova diminuita.

Col separare il meccanismo interruttore dal rocchetto, col renderlo indipendente, come fece Foucault, è agevole produrre interruzioni che diano il massimo dell'effetto regolando opportunamente il periodo. E questo periodo si regola spostando un peso lungo la molla R.

Il rocchetto (fig. 250) è munito di un'interruttore Foucault completo.

Si fanno rocchetti di dimensioni svariate.

Uno di essi, costrutto in Inghilterra da Apps e che figurò alla Esposizione di elettricità del 1881, dà scintille lunghe 108 centimetri.

Il filo primario è un filo di rame di 512 metri di lunghezza e di millimetri 0,245 di diametro, esso fa 1344 giri sopra un rocchetto lungo 106 centimetri.

Nell'interno, secondo l'asse del rocchetto, è disposto un fascio di fili di ferro dolce di 112 centimetri di lunghezza e di 9 centimetri di diametro.

Il filo secondario è avvolto in 341 850 giri, ha una lunghezza di 450 mila metri ed un diametro di 24 millesimi di millimetro.

Il condensatore ha una superficie di 26 metri quadrati. Il rocchetto che nel 1867 fruttò a Ruhmkorff il premio del concorso bandito dal governo francese per l'applicazione della pila dava scintille di 80 centimetri di lunghezza.

In cotali rocchetti, la differenza di potenziale fra due punti del filo

Fig. 249. — Scossa prodotta dall'extra corrente di rottura.

secondario lontani l'uno dall'altro è considerevole e se quei due punti sono sovrapposti per effetto dell'avvolgimento del filo, è chiaro che l'isolante che lo riveste potrà essere forato precisamente come è talvolta forato il vetro di una bottiglia di Leida le cui armature presentano una differenza di potenziale sufficiente.

Allo scopo di evitare sì grave inconveniente, si tramezza il rocchetto come ebbe ad indicare Poggendorff nel 1850, vale a dire che si formano col filo indotto parecchi rocchetti piatti, o girelle che si sovrappongono in seguito separandole con un disco isolante, poi si legano quei rocchetti riunendone le estremità come se si trattasse di accoppiare pile in serie. In questa guisa si evita di mettere una sull'altra due spire separate da una lunghezza di filo troppo grande.

I grandi rocchetti producono effetti fulminei, perciò bisogna manipolarli con precauzione. Certi rocchetti arrivano a perforare lastre di vetro che hanno sino 15 centimetri di grossezza.

Il numero delle pile accoppiate in tensione necessario, al buon funzionamento di un rocchetto, varia colle dimensioni del rocchetto stesso.

Un solo elemento di Bunsen basta pei rocchetti destinati a dare scintille da 5 a 10 centimetri di lunghezza; pei rocchetti grandi si adoperano da 10 a 12 di quegli elementi.

I rocchetti terapeutici atti a provocare scosse in certi casi di malattie muscolari sono relativamente deboli e muniti di *graduatori* per mezzo dei quali si può regolare come si stima meglio l'intensità della scossa. Per graduare la scossa basta che sia possibile di introdurre o di ritirare più o meno dall'asse del rocchetto il fascio di ferro dolce od anche il rocchetto primario stesso. Infatti non vi sono che le parti sovrapposte che sieno realmente attive.

Si può anche predisporre uno spazio vuoto fra il rocchetto primario ed il secondario per introdurvi una lunghezza variabile di un manicotto cilindrico di rame, la cui presenza indebolisce di molto l'induzione, come ebbe a notare il fisico americano Henry nel 1840. Quel tubo di rame viene per tal ragione chiamato *schermo di induzione.*

Se si vogliono sentire scosse in modo continuo si prende in ciascuna mano una delle impugnature che stanno alle estremità del filo indotto.

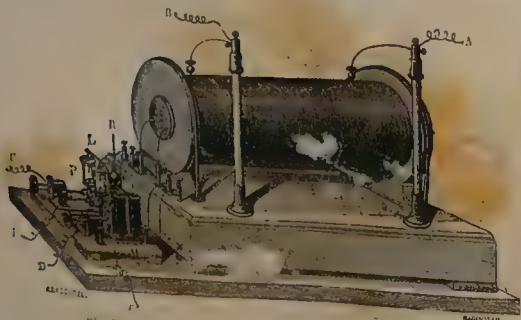



Fig. 250. — Rocchetto di Ruhmkorff con interruttore Foucault.

Si può anche sviluppare l'eccitazione sopra questo o quel muscolo particolare scelto a piacere introducendolo nel circuito.

L'energia che il rocchetto attinge dalle reazioni chimiche che si effettuano nella pila che alimenta la corrente induttrice viene impiegata nei medesimi usi nei quali si usufruisce l'energia di un motore meccanico mediante una macchina elettrica, per esempio quella di Holtz.

Ma siccome il rocchetto dà una successione di correnti indotte dirette ed inverse, sarà necessario alle volte prendere certe precauzioni.

Si tratta di caricare una bottiglia di Leida od una batteria? Non basterà punto collegare ciascuna delle sue armature ai due poli del rocchetto: infatti le correnti indotte di senso contrario determinerebbero in quelle condizioni elettrizzazioni contrarie sulla medesima armatura.

Fa d'uopo operare come segue: si riunisce l'armatura esterna della bottiglia *L* (fig. 252) da una parte ad una delle estremità *b* del filo secondario e dall'altra parte al braccio *c'* di un eccitatore. L'armatura

interna la si collega all'altro braccio d' dell'eccitatore stesso, poi si conduce la seconda estremità del filo secondario a del rocchetto B a contatto di un'asta che termina colla palla c collocata dirimpetto al bottone d della bottiglia. Stabilite quelle comunicazioni, si mette il rocchetto in azione e si regola opportunamente la distanza $c\ d$ in guisa che la scintilla diretta sia la sola che passa. La scintilla che salta fra

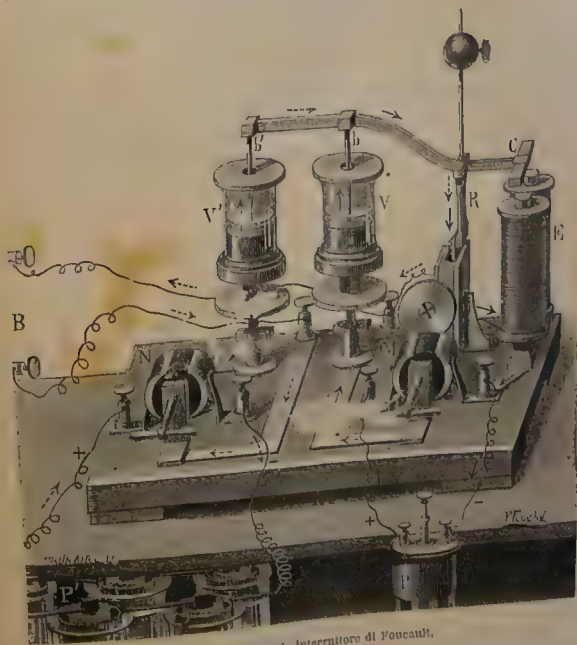



Fig. 271 — Grande interruttore di Foucault.

c e d accumula allora sull'armatura interna della bottiglia la medesima elettricità e la bottiglia si carica. Appena la bottiglia, in conseguenza della sua carica stabilisce una differenza di potenziale sufficiente fra le palle c' e d' (che sono più avvicinate di c e d affinchè la scarica non avvenga fra c e d e per conseguenza attraverso al rocchetto) scocca fra c' e d' una scintilla. Perciò fra c e d saltano le scintille di carica fornite dal rocchetto B e fra c' e d' le scintille di scarica che

provengono dalla bottiglia. È evidente che il numero delle scintille di carica indispensabili per provocare una scintilla di scarica dipende ad un tempo dalla portata del rocchetto e dalla capacità della bottiglia. Ora nulla si perde, poichè la scintilla di scarica contenendo un certo numero di scintille di carica sarà molto più grossa e più nudrita di quelle.

Si ottiene un risultato simile collegando i rami m ed n (fig. 253) dell'eccitatore alle armature K e p di un condensatore. Codesto condensatore *in derivazione* sull'eccitatore si carica, il che, mentre diminuisce la frequenza delle scintille che saltano in $m\,n$, aumenta la loro energia di tutta quella del condensatore.

Jamin potè fondere, volatilizzare fili metallici di più d'un metro di lunghezza facendoli attraversare dalla scarica di 120 bottiglie di Leida caricate dalla scintilla data da quattro rocchetti accoppiati, in ognuno dei quali la corrente induttrice era alimentata da due pile di Bunsen.

Fig. 252. – Carica di una bottiglia di Leida per mezzo di un rocchetto di induzione.

Si son molto studiati i fenomeni svariatissimi prodotti dalla scarica del rocchetto di induzione in seno ad uno spazio contenente un gas più o meno rarefatto o traccie di vapori di diversi liquidi. Supponiamo prima di tutto che la scintilla scocchi nell'aria alla pressione ordinaria. L'energia della scintilla che scocca determina un riscaldamento notevole dell'aria che essa attraversa ed una produzione di vapori metallici strappati alle estremità del filo indotto. Quei vapori, mescolati all'aria riscaldata, che è pure conduttrice, completano il circuito secondario.

Osservando quella scintilla si scorge che essa è formata da una *linea di fuoco* centrale, avvolta da una guaina luminosa od aureola. Lissajous ha applicato all'osservazione della scintilla il metodo dello specchio girante ideato nel 1834 da Wheatstone e del quale abbiamo spiegato il principio a pag. 199. In luogo della fiamma f che si vede in modo permanente e che per conseguenza dà nello specchio girante una striscia luminosa continua, si guarda nello specchio la scintilla che scocca al posto di quella fiamma. Se quella scintilla è istantanea essa non sarà messa in evidenza dallo specchio, quantunque esso giri

con rapidità grandissima; se per converso brilla per un tempo apprezzabile essa darà una striscia luminosa la cui lunghezza dipende ad un tempo dalla velocità di rotazione dello specchio e dalla durata della scintilla. Con questo mezzo si vede che la linea di fuoco è istantanea e che l'aureola che tiene dietro a quella linea e che l'avvolge ha per converso una durata sensibile, alcuni milionesimi di minuto secondo. La durata delle scintille si misura per mezzo del *cronoscopio a scintille* (fig. 254).

Per poter far variare agevolmente la pressione e la natura del mezzo nel quale è posto l'eccitatore *a d*, lo si chiude in un vaso di vetro a foggia d'uovo che si chiama l'*uovo elettrico* (fig. 255).

La guarnitura inferiore di quel vaso è munita di un canale dipendente da un robinetto e pel quale una macchina pneumatica aspira il gas contenuto dal vaso. L'asta *a* può scorrere in una cassetta guarnita di cuojo.

Per fissare le idee, supponiamo che l'asta *a* sia collegata al polo positivo del rocchetto e l'asta *d* al polo negativo, e facciamo il vuoto. Quando l'aria è ridotta ad una pressione misurata da una colonna ver-

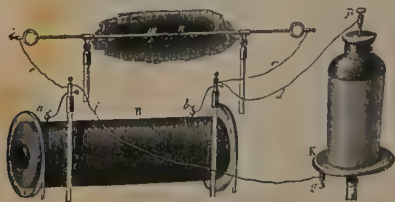



Fig. 253. — Condensatore in derivazione sull'eccitatore di un rocchetto di Ruhmkorff.

ticale di mercurio di 5 o 6 centimetri soltanto, si vede la scintilla, che prima si era ramificata, trasformarsi in un vero pennacchietto: una moltitudine di piccole striscie d'una luce purpurea partono dalla striscia positiva *a* e si dirigono le une verso la parete dell'uovo, le altre si riuniscono in un fuso che mette capo alla palla negativa *d*; nel medesimo tempo quella palla e la sua asta sono immerse in un denso velo di luce violacea (n.° 1, fig. 255).

Quando la pressione diminuisce ancora di più e cade a qualche millimetro, le striscie precedenti si moltiplicano al punto che più non si vede che un fuso uniforme di luce purpurea, rossastra e sopratutto splendente in vicinanza alla palla positiva. La palla negativa conserva la sua aureola violacea.

I bagliori elettrici si manifestano egualmente nel vuoto barometrico. Per dimostrarlo, Davy costruì un barometro doppio con un tubo di vetro curvato (fig. 256) e mise le vaschette in comunicazione coi poli di una macchina elettrica. Egli vide allora una debole luce riempire il vuoto barometrico *a b c*. Scaldando il mercurio in guisa da fargli emettere vapori, il bagliore divenne brillante e verde. Introducendo nel

vuoto *a b c* alcune bolle d'aria, il bagliore passa dal verde al turchino, poi al porpora.

Aumentando sempre più il vuoto nell'uovo, Gassiot di Londra mostrò, nel 1859, che la luce non vi si produce più.

Alvergniat ripetè la medesima esperienza a Parigi facendo il vuoto più perfetto possibile in un'ampolla di vetro (fig. 257) che faceva l'ufficio stesso dell'uovo; il rocchetto di induzione non dà più scintilla attraverso quel vuoto da *a* in *b*.

Già nel 1785 Morgan comunicava alla Società Reale di Londra una memoria intitolata *Esperienze elettriche sull'assenza di conducibilità*

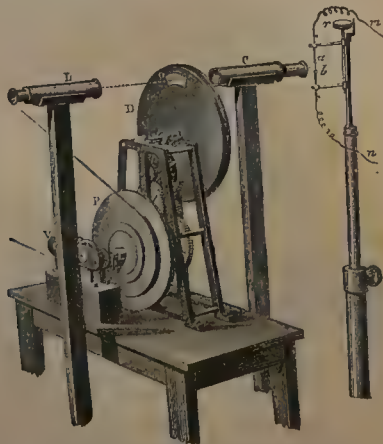



Fig. 258. — Cronoscopio, istrumento col quale si può osservare e misurare approssimativamente la durata di una scintilla che salta fra *a* e *b*.
Si osserva la scintilla *a b* attraverso il cannocchiale *L*.
C è un collimatore. Girando la ruota nascosta nella scatola *D* si fanno passare dinanzi ad una finestrella alcune linee trasparenti o fessure attraverso alle quali si vede la luce. Dal numero delle fessure vedute simultaneamente e dalla velocità della ruota si deduce la durata approssimativa della scintilla *a b*.

del vuoto perfetto, ed in quella si esprimeva così: « Ho preso un tubo di vetro aperto ad un capo solamente, e lungo circa 375 millimetri, e lo riempii di mercurio diligentemente purgato d'aria coll'ebollizione, poi lo coprii con un foglio di stagno sopra una lunghezza di 125 millimetri partendo dall'estremità chiusa. In seguito tuffai l'estremità aperta in una vasca a mercurio chiusa da una piastra di rame, facendo passare il tubo per una apertura praticata in quella piastra e assicurandolo poi con mastice colla massima cura, in guisa da non lasciare comunicazione di sorta coll'aria esterna; poi levai tutta l'aria contenuta nella parte superiore della vasca a mercurio, mettendone l'interno in

comunicazione con una macchina pneumatica per mezzo di una valvola praticata nella montatura superiore. Ottenni così nel tubo di vetro un vuoto perfetto, cosa che mi procacciò un eccellente istrumento per le esperienze che io meditava. Preparato così il mio apparecchio, applicai all'interno della vasca un filo metallico destinato a far comunicare la montatura di rame ed il mercurio nel quale pescava il tubo. Ciò fatto, misi l'armatura superiore del tubo in comunicazione col conduttore di una macchina elettrica, e ad onta di tutti i miei sforzi non ci fu caso di ottenere in quel vuoto perfetto nè il menomo raggio di luce, nè la più debole scarica. »

Nell'ampolla d'Alvergniat le due aste metalliche si guardano e penetrano nell'interno dell'ampolla; nell'esperienza di Morgan il vuoto costituisce una parte dell'isolante di un condensatore le cui due armature sono il mercurio della vasca e il foglio di stagno incollato sul tubo.

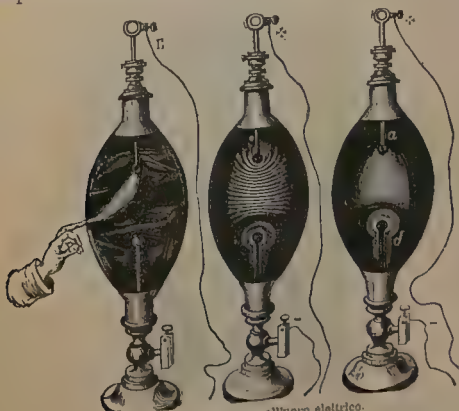



Fig. 23. — Scarica in seno all'uovo elettrico.

Se il mercurio contenuto nel tubo non è che imperfettamente purgato dall'aria, l'esperienza non riesce; ma allora la luce elettrica che nell'aria rarefatta dalla macchina pneumatica ha un colore violetto, si mostra con una bella tinta verde, e, cosa assai singolare, quel fatto può indicare il grado della rarefazione dell'aria. Infatti, accadde alcune volte nel corso degli esperimenti, che una bolla d'aria si introducesse nel tubo, ed allora la luce elettrica diventava subitamente visibile, assumendo, come di solito, un colore verde; ma la frequente ripetizione della carica finisce collo spaccare il tubo nella parte superiore e l'aria esterna rientrando nel tubo, a poco a poco fa passare il colore della luce elettrica dal verde al turchino, dal turchino all'indaco ed infine al violetto.

D'altra parte Cailletet ha verificato che la scintilla scocca con difficoltà ognor più crescente fra i poli di un rocchetto di induzione a misura che si aumenta la compressione dell'aria che accolge quei poli. Perciò un rocchetto che nell'aria secca ordinaria forniva scintille di 30 centimetri non poteva dare che scintille di circa mezzo millimetro in un'aria secca 40 o 50 volte più compressa.

È dunque naturale concludere con Morgan, che la rarefazione dell'aria presenta un limite al di là del quale quel corpo perde la facoltà di lasciar passare la scintilla; in altre parole, che le molecole d'aria possono allontanarsi le une dalle altre quanto basta per non poter più trasmettere l'elettrizzazione; per converso, se si riconducono ad una

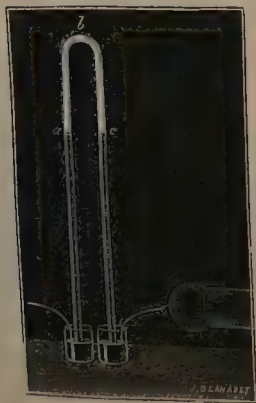



Fig. 250. — Bagliore nel vuoto barometrico osservato da Davy.

certa distanza le une dalle altre l'aria diventa conduttrice e ciò sino a che la condensazione delle molecole abbia raggiunto un limite oltre al quale il potere conduttore cessa di bel nuovo.

« Egli è certo, dice Joubert nel suo *Trattato d'elettricità*, che l'aurora boreale è un fenomeno elettrico. È una scarica nell'aria rarefatta, affatto analoga a quella che si produce nei tubi di Geissler. È difficile dire in qual senso abbia luogo la scarica; tuttavia sembra succedere dalle regioni superiori verso la superficie. D'altra parte quel fenomeno si produce a distanze molto variabili: vennero osservate *aurore boreali* che non si elevavano a più di 2 chilometri, altre che oltrepassavano i 150 chilometri. La luce è dovuta, come nei tubi ove si fa il vuoto, a sostanze gasose rese incandescenti dalla scarica elettrica. »

La scarica elettrica presenta ancora altre particolarità.

Abria notò pel primo, nel 1843, che la luce di scarica di un rocchetto di induzione che illumina l'uovo elettrico od un tubo di vetro

contenente aria assai rarefatta — corrispondente a circa un millimetro di mercurio — è solcata da fascie o strie trasversali alternativamente luminose ed oscure. In ciò consiste il fenomeno della stratificazione della scarica.

Al n.° 2 della figura 255 si vede un uovo così illuminato: il polo positivo termina con un punto assai brillante, poi appajono le fascie; esse sono curve e presentano la loro concavità al polo. La luce è pallida nelle parti larghe dell'uovo, splendida nelle parti strette. Finalmente una zona oscura, detta da Faraday *scarica oscura*, precede il polo negativo il cui filo è nondimeno avvolto in una guaina luminosa.

Fu solamente verso il 1852 che Grove in Inghilterra, Ruhmkorff, Quetz, Seguin in Francia, studiarono il fenomeno della stratificazione che in oggi si mostra agevolmente per mezzo dei tubi preparati per la

Fig. 257. — Ampolla di vetro d'Alvergniat.
La scintilla non si produce punto nel vuoto. — *a b*, Fili metallici. — *c*, Tubo dal quale si pratica il vuoto.

prima volta da Geissler, costruttore a Bonn, mercè la pompa per fare il vuoto da lui inventata (1).

---

(1) Questa pompa, modificata in particolare dal costruttore Alvergniat, è composta così (fig. 258 e 259). Un serbatojo *R* contiene mercurio, e per mezzo di un tubo di caucciù *K* comunica con un tubo verticale *P*, il quale finisce in una grande ampolla *A* dalla quale si dipartono tre tubi. Uno di questi, il tubo t_1, fa comunicare la parte superiore coll'inferiore dell'ampolla; t_2 è un tubo curvato due volte la cui estremità pesca in una vasca da mercurio *C*. Il tubo *p* arriva al vaso nel quale si è stabilito di fare il vuoto, di estrarre l'aria, il gas che contiene. Quel tubo *p* presenta in *S* un rigonfiamento che contiene la chiave o valvola automatica dell'apparecchio, la quale consiste in un cono di vetro che chiude il tubo *p* quando viene ad applicarsi contro la sua estremità.

Ecco ora come l'apparecchio funziona. Supponiamo per primo caso che si debba estrarre dal vaso un gas, per esempio aria, alla pressione atmosferica. Per mezzo degli ingranaggi e della catena che si vede sulla figura, si fa montare il serbatojo *R*; allora il mercurio in esso contenuto passa in parte nel tubo *K P* e scaccia dinanzi a sè il gas contenuto nel tubo, gas che va a sprigionarsi in *C*. Appena il mercurio è arrivato alla base dell'ampolla *A*, rompe qualsiasi comunicazione fra l'ampolla *A* ed il vaso da vuotare; si continua ad elevare il serbatojo di mercurio sino a che l'ampolla *A* ed il tubo t_1 sieno pieni di mercurio. In questa guisa l'aria contenuta nell'ampolla *A* e nei tubi t_1 e t_2 è scacciata nell'aria esterna.

Si abbassa il serbatojo *R* e lo si rimette nella posizione primitiva. Allora il mercurio cessa dall'otturare le congiunzioni dei tubi t_1 e *p* ed il vaso ove c'è l'aria comunica subito coll'ampolla *A* che non contiene più nulla, poichè è stata vuotata quando si portò in alto il mercurio; in tali condizioni, l'aria del vaso da vuotare si spanderà in parte in *A* e per conseguenza si rarefarà tanto maggiormente quanto più grande è l'ampolla *A*, ciò è evidente. Una nuova corsa del serbatojo scaccierà durante l'ascesa l'aria dell'ampolla, la quale poscia durante la discesa si riempirà di una nuova quantità d'aria presa dal vaso che andrà progressivamente perdendo l'aria che contiene. Si osserva la rarefazione sopra un piccolo manometro t_3, nei due rami del quale il mercurio tende ognor più a mettersi al medesimo livello a misura che il vuoto progredisce. In conclusione, la corsa del serbatojo corrisponde al colpo di stantuffo di una pompa d'acqua, nella prima mezza corsa l'aria è aspirata da *S* in *A* e nell'altra mezza è rigettata o riversata all'esterno.

Quei tubi contengono generalmente, oltre all'aria molto rarefatta, traccie d'alcool, d'essenza di trementina, di solfuro di carbonio, di bicloruro di stagno, d'olio di nafta, di fluoruro di calcio (solido), ecc. Alle estremità dei tubi sono saldati pezzetti di filo di platino che ricevono i fili del rocchetto. La luce di quei tubi prende tinte che dipendono dalla sostanza contenuta nel tubo. Certi tubi presentano effetti bellissimi ed hanno forme a contorno arbitrario.

Le scintille ordinarie che scoccano in seno a tubi contenenti gas diversi e fra fili di platino (fig. 260) non hanno neppur esse il medesimo colore. Nell'azoto la linea di fuoco, la scintilla, è più viva e più rumorosa che nell'aria; nell'idrogeno è di color cremisi e poco rumorosa; nell'acido carbonico, la linea è verde; la pressione, la temperatura, ecc.; influiscono pure sulle qualità della luce.

Il rocchetto di induzione si presta mirabilmente alle esperienze di stratificazione; ma si può tradurle in fatto anche per le altre vie mettendosi in condizioni acconcie. Supponiamo che si tratti di una bottiglia di Leida. La scarica pura e semplice della bottiglia attraverso un tubo di Geissler illumina bensì il tubo, ma se si vogliono far apparire le stratificazioni è necessario o impiegare una bottiglia debolmente caricata o riunire uno dei fili del tubo all'armatura esterna della bottiglia con una funicella di canape bagnata, in guisa da accrescere la durata della scarica che si provocherà toccando il secondo filo del tubo col bottone della bottiglia. Non insisteremo sulle varie spiegazioni di quei fenomeni, perchè nessuna è ammessa, nessuna è sufficiente.

Quando si fa passare la scarica di un rocchetto di induzione, non più in un tubo di Geissler, ma in un tubo ove il vuoto è mille volte ancora più perfetto (1), si osservano fenomeni ben inattesi, segnalati e studiati nel 1879 da William Crookes.

Importa notare che la pressione atmosferica si esercita costantemente alla superficie del serbatojo R e della vasca C. Quella pressione fa salire il mercurio nei tubi P' e t_2 ad un livello sempre più elevato a misura che il vuoto cresce; mentre l'altezza del mercurio nel tubo P al disopra del livello di R o quella del mercurio nel tubo t al disopra della vasca C riesce tutt'al più eguale all'altezza indicata dal barometro.

Quando si è prossimi al vuoto ed il serbatojo R è all'estremità superiore della sua corsa, il mercurio che tende ad elevarsi nel tubo p ad un'altezza che può raggiungere quella che indica il barometro, viene a spingere la valvola S e siccome la fa premere su p si chiude ogni passaggio nel tubo p.

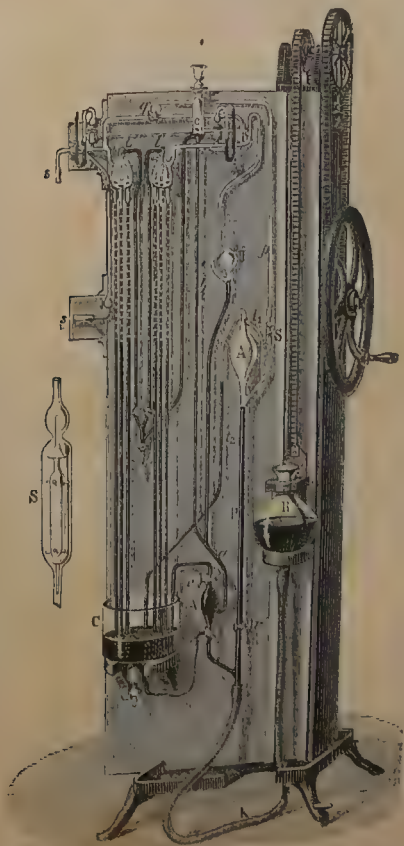
Allorchè il mercurio discende, la valvola ricade in virtù del suo proprio peso e la comunicazione indispensabile fra il vaso da vuotare e l'ampolla A si trova ristabilita.

(1) Per ottenere un vuoto quale era indispensabile ne' suoi apparecchi Crookes fece uso della tromba di Sprengel (fig. 261) il cui funzionamento è dei più semplici. Il vaso in cui vuolsi fare il vuoto è attaccato al tubo t, poi si apre A. Allora il mercurio sgorga dal recipiente R, passa nel tubo t, poi nel tubo T abbandona nell'ampolla a l'aria che può trattenere, discende nel tubo T' per risalire nel tubo T''. Questo termina in punta ed in tale maniera che il mercurio non possa abbandonarlo che a goccia a goccia. Quelle goccie vanno poi a riunirsi nella [illegible] e discendendo pel tubo T'''.

Il vaso che contiene l'aria comunica mediante il tubo t con una serie di piccoli spazii vuoti successivi compresi fra due goccie consecutive, e l'aria che contiene va a riempire tutti quei piccoli spazii quando passano da T' in T''. Quell'aria sfugge quando e arriva nella [illegible]. In questo [illegible] il vuoto si fa con somma perfezione, [illegible]; si fa più presto moltiplicando i tubi T.

[illegible] di quando in quando mercurio nel serbatojo R attingendolo da c, senza di che la pompa cesserebbe in breve dal funzionare. Spesso si prende la precauzione di scaldare il vaso [illegible] il vuoto, si può allora spingere il vuoto più innanzi. Un manometro t' indica il vuoto ottenuto ad ogni istante.

Generalmente, si fa prima il vuoto con una macchina pneumatica qualunque, per esempio colla pompa di Geissler, e lo si completa colla tromba di Sprengel moltiplicata. La figura 261 rappresenta i due apparecchi montati sopra una medesima base.

Fig. 258. — Pompa-tromba d'Alvergniat a sel caduto.

Senza dubbio rimangono ancora in quel vuoto particelle d'aria in gran numero, ma esse non si contrariano più in una maniera incessante e disordinata come nelle condizioni ordinarie.

Secondo diversi scienziati e grazie ad ipotesi ammissibili, un pallone di vetro di $13^{cm},5$ di diametro conterrebbe un settiglione di quelle particelle (1 000 000 000 000 000 000 000 000); nel vuoto dei tubi di Crookes quel numero si trova ridotto ad un quintilione (1 000 000 000 000 000 000) quantità che è ben lontana dall'essere trascurabile.

Una tale materia rarefatta della quale ci è impossibile *a priori* prevedere le proprietà fu detta da Faraday nel 1816: MATERIA RADIANTE.

« Se noi imaginiamo, diss'egli in una delle sue lezioni, intitolata *La materia radiante*, uno stato di materia *altrettanto lontano dallo stato gasoso quant'è questo dallo stato liquido*, potremo, forse, purchè la nostra imaginazione vada sin là, concepire presso a poco la materia radiante. » L'esistenza di questo quarto stato della materia, lo stato radiante, ammesso da Faraday, è stata dimostrata da William Crookes (1).

---

(1) **Villiam Crookes, nato a Londra il 17 giugno 1832**, fece brillanti studi al collegio reale di chimica ove, nel 1848, riportò il gran premio Ashburton: a diciannove anni preparatore del chimico Hofmann; a vent'anni professore supplente al collegio reale, professore titolare di chimica al collegio di Chester. Nel 1861, col sussidio dell'analisi chimica e dello spettroscopio, scoprì un nuovo metallo: il Tallio. Nel 1863 fu eletto membro della Società reale di Londra. In seguito alle indagini sui fenomeni di ripulsione prodotti dai raggi della luce, ripulsione che era stata indicata da Fresnel, inventò il *Radiometro* e presentò alla Società reale un lavoro intitolato: *Esperienze di ripulsione risultanti dalla irradiazione*. Dopo essere stato nominato presidente della Società di chimica, scrisse la sua opera la *Fisica molecolare nel vuoto*, nella quale ammette il quarto stato della materia, lo stato extra gasoso, ossia la materia radiante. Nel 1879 ripetè a Parigi, alla Sorbona, i suoi esperimenti su questo argomento e l'Accademia delle Scienze gli largì una medaglia d'oro ed un premio di tre mila lire. Nel 1881, il Crookes fece parte del giurì dell'Esposizione internazionale d'elettricità tenutasi a Parigi, per questo titolo non poteva accettare nessuna ricompensa, ma i colleghi del giurì, dopo aver esaminato tutti i sistemi di lampade ad incandescenza, dichiararono, che nessuno di quei sistemi avrebbe dato risultati pratici senza l'applicazione del vuoto quasi assoluto, e Guglielmo Crookes è il primo e, sino a questo giorno, il solo fisico, che abbia mostrato come si può ottenerlo. Nel 1887, Crookes lesse al cospetto della società chimica di Londra uno studio di chimica generale, la *Genesi degli elementi*, ove dice « che gli elementi chimici non son punto semplici e primordiali, che essi non sono l'effetto del caso, che non furono creati in una guisa disordinata e macchinale, ma che sono un'evoluzione di una materia più semplice, e fors'anco di una sola specie di materia. » Il primo elemento sarebbe l'idrogeno, il più semplice di tutti i corpi conosciuti nella sua struttura e quello che ha il peso atomico più basso.

Crookes ha pubblicato numerose opere che fanno testo, ma ciò che valse allo scienziato inglese la grande notorietà di cui gode nel mondo intero, fu dopo la sua scoperta della *materia radiante*, l'ardire, il coraggio che dimostrò abbordando lo studio dei fenomeni detti di *Spiritismo*.

Dopo numerosi sforzi per decidere la Società reale a studiare ufficialmente i fenomeni detti spiritici, comunicò a quella società nel 1874 il risultato delle sue proprie investigazioni in un lavoro intitolato: *Ricerche sui fenomeni dello spiritualismo*. La svogliatezza che mostrarono i suoi colleghi nell'esaminare quei lavori spinse il Crookes a sottomettere la questione alla società britannica pel progresso delle scienze e all'apertura della sessione del 1876, propose che lo spiritismo formasse l'oggetto delle deliberazioni della sessione biologica di quella società.

Nella sua inchiesta sui fenomeni detti spiritici, Crookes prese le precauzioni più minuziose, si servì del controllo più severo: « Non saprei pronunciarmi, egli dice sul principio del suo libro *Ricerche sui fenomeni dello spiritualismo*, sulla causa dei fatti di cui fui testimonio, ma che certi fenomeni fisici si producano in circostanze nelle quali non si può spiegarli con nessuna *legge fisica attualmente conosciuta*, è un fatto di cui io sono sicuro come del fatto più elementare della chimica. Tutti i miei studi scientifici non furono altro che una serie di osservazioni esatte, ed io desidero, che sia ben capito che i fatti che affermo sono il risultato di indagini coscienziose e scrupolosissime.

« Lo spiritualista parla di corpi pesanti 50 o 100 libbre che si sono sollevati in aria senza l'intervento di alcuna forza conosciuta; ma il dotto chimico è assuefatto a far uso di una bilancia sensibile ad un peso sì piccolo, che ne sarebbero abbisognati diecimila come esso a formare il peso di un grano. È dunque ragionevole domandare che quella forza, quel potere,

In una sua conferenza sulla *materia radiante*, fatta nel 1879 a Sheffield, al congresso dell'associazione britannica pel progresso delle scienze, Crookes espose la sua teoria nel modo seguente:

« Se taluno, al principio di questo secolo avesse domandato che cosa è un gas, gli avrebbero risposto che è materia dilatata e rarefatta al punto d'essere impalpabile — salvo il caso in cui è animata da un movimento violento — invisibile, incapace di prendere una forma definita come quella dei solidi o di formare delle goccie come i liquidi: sempre pronta a dilatarsi quando non incontra resistenza, a contrarsi sotto l'azione di una pressione. Tali erano le principali proprietà che or fa una sessantina d'anni si attribuivano ai gas. Ma le indagini della scienza moderna hanno ben allargato e modificato le nostre idee sulla costituzione di quei fluidi elastici. Oggi si considerano i gas come com-

che si dice guidato da un'intelligenza, che solleva sino al soffitto un corpo pesante, faccia muovere sotto condizioni determinate la sua bilancia si delicatamente equilibrata. Lo spiritualista parla di colpi battuti che si producono nelle diverse parti di una camera, quando due o più persone stanno tranquillamente assise intorno ad un tavolo. Lo sperimentatore scientifico ha il diritto di domandare che quei colpi si producano sulla membrana tesa del suo fonautografo. Lo spiritualista parla di camere e di case scosse sino al punto di essere danneggiate da un potere sovrumano. L'uomo della scienza chiede semplicemente che un pendolo posto sotto una campana di vetro e piantato sopra una solida base in muratura, venga messo in vibrazione. Lo spiritualista parla di oggetti pesanti di mobiglio che si muovono in una stanza senza l'azione dell'uomo. Ma lo scienziato ha costruito istrumenti che dividerebbero un pollice in un milione di parti: ed egli è indotto a dubitare dell'esattezza delle osservazioni effettuate se la medesima forza è impotente a far deviare di un solo grado l'indice del suo strumento. Lo spiritualista parla di fiori irrorati di fresca rugiada, di frutti ed anche di esseri umani portati attraverso le invetriate chiuse ed anche attraverso muraglie di mattoni. L'investigatore scientifico domanda naturalmente che un peso addizionale (non fosse che la millesima parte di un grano) sia deposto in un piatto della sua bilancia, quando la custodia ne è chiusa a chiave. Ed il chimico domanda che venga introdotta la millesima parte di un grano d'arsenico attraverso le pareti di un tubo di vetro nel quale l'acqua pura fu ermeticamente rinserrata. Lo spiritismo parla di manifestazioni di una forza equivalente a migliaia di libbre, e che si produce senza causa nota. L'uomo della scienza che crede fermamente alla conservazione della forza e che pensa che essa non si produce giammai senza un esaurimento corrispondente di qualche cosa per surrogarla, domanda che le dette manifestazioni si producano nel suo laboratorio, ove egli potrà pesarle, misurarle e sottometterle alle sue proprie esperienze. »

Guglielmo Crookes verificò scientificamente quei fenomeni inattesi e concluse per l'esistenza di un'*energia non definita* che egli chiama *forza psichica*.

« La teoria della *forza psichica* non è altro che la semplice constatazione del fatto omai quasi indiscutibile, che, in certe condizioni tuttora imperfettamente stabilite e ad una certa distanza, ancora indeterminata, dal corpo di certe persone, dotate di un'organizzazione nervosa speciale, emana una forza che senza contatto dei muscoli o di ciò che li concerne esercita una azione a distanza, produce visibilmente il movimento dei corpi solidi e li fa emettere suoni. Siccome poi perchè quei fenomeni si producano è necessaria la presenza di una tale organizzazione, è ragionevole concludere che quella forza, procede da quella organizzazione per un mezzo ancora ignoto. Nel modo stesso che l'organismo è esso medesimo mosso e diretto da una forza che è l'anima, o è governato dall'anima, dalla mente o intelligenza (datele il nome che più vi piace) che costituisce l'essere individuale che noi chiamiamo l'*uomo*, così è ragionevole concludere che la forza che produce il moto al di là dei limiti dei corpi è la medesima di quella che lo produce per entro a quei limiti. E nel modo stesso che si vede sovente la forza esterna guidata da una intelligenza, nel modo stesso è ragionevole concludere altresì che l'intelligenza che dirige la forza esterna è la medesima di quella che la governa internamente. Gli è a questa forza che io diedi il nome di *forza psichica*, perchè questo nome definisse bene la forza che a mio avviso prende la sua sorgente nell'anima o intelligenza dell'uomo. »

I fenomeni psichici che sino al presente sono sfuggiti a qualsiasi spiegazione formano l'argomento degli studi di una dotta società di Londra, *Society for psychical researches* (Società per le ricerche psichiche), della quale è presidente l'eminente fisico Balfour Stewart, membro della società reale; ne sono corrispondenti della Francia, Taine, Ribot e Richet (*).

(*) Per quanto sia all'ammettere o meno la *forza psichica* il discreto lettore ha tutto il diritto di mantenersi in una prudente riserva. *Nota del Trad.*

posti di un numero quasi infinito di piccole particelle o molecole, le quali sono in continuo movimento ed animate da velocità di tutte le grandezze imaginabili. Siccome il numero di quelle molecole è estremamente grande, ne consegue che una molecola non può moversi in nessuna direzione senza urtare quasi subito contro un'altra. Ma se noi estraiamo da un vaso chiuso una gran parte dell'aria o del gas che esso contiene, il numero delle molecole diminuisce, e la distanza che

Fig. 229. — Pompa a mercurio d'Alvergniat (piccolo modello).

una data molecola può percorrere senza urtare contro un'altra si accresce, essendo la lunghezza media della corsa libera in ragione inversa del numero delle molecole residue. Più il vuoto diviene perfetto e più cresce la distanza media che una molecola percorre prima di entrare in collisione; o, in altre parole, più aumenta la lunghezza media della corsa libera più si modificano le proprietà fisiche del gas. Perciò, spingendo la rarefazione del gas ancora più innanzi, vale a dire se noi diminuiamo il numero delle molecole che si trovano in un dato spazio, e che così facendo aumentiamo la lunghezza della loro corsa

libera, renderemo possibili gli esperimenti che ora mi farò a descrivere. Quei fenomeni differiscono sì fattamente da quelli presentati dai gas alla tensione ordinaria, che noi siam costretti di ammettere che ci troviamo alla presenza di un *quarto stato della materia, il quale è sì lontano dallo stato gasoso quanto questo lo è dallo stato liquido.*

« *Corsa libera media. — Materia radiante.* — Già da lungo tempo vado pensando che un fenomeno ben noto che si osserva nei tubi di Geissler deve avere un rapporto intimo colla corsa libera media delle molecole. Quando si esamina il polo negativo mentre la corrente fornita da un rocchetto di induzione attraversa un tubo di vetro nel quale si fece vuoto, si vede intorno a quel polo uno spazio oscuro. Si verifica che quello spazio oscuro aumenta o diminuisce a norma che il vuoto è reso più o meno perfetto, vale a dire secondo che la corsa libera media delle molecole diventa più lunga o più corta. Nel modo stesso che la mente vede accrescersi quella corsa libera, gli occhi veggono ingrandirsi lo spazio oscuro; e se il vuoto è troppo imperfetto per lasciare alle molecole molta libertà prima che entrino in collisione tra esso, il passaggio dell'elettricità mostra che lo spazio oscuro è ridotto a dimensioni minime. Si vede adunque che lo spazio oscuro rappresenta la corsa libera media del gas residuo, ed è affatto diverso nei tubi ove il vuoto è perfetto e nei tubi ove il vuoto è fatto incompletamente. Nei tubi ove il vuoto è migliore, le molecole del gas che ancora rimangono possono percorrerli quasi senza collisione; e siccome le molecole provenienti dal polo negativo hanno una velocità enorme, ed accusano proprietà nuove e caratteristiche, si può benissimo valersi del vocabolo *materia radiante* preso da Faraday. »

Fig. 260. — Il colore della scintilla dipende dal gas o dal vapore nel cui seno essa scocca

La materia radiante, dal punto di vista della scarica del rocchetto di induzione non si comporta come un tubo di Geissler; non è più un'illuminazione generale del tubo che si manifesta, ma il vaso di

vetro è illuminato solo sulla *superficie direttamente opposta al polo negativo.* Crookes spiega quel fenomeno dicendo: *La materia radiante si muove in linea retta.*

Per eseguire l'esperimento si prende un vaso di vetro (n.° 7 della fig. 262), si attacca in *a* il polo negativo del rocchetto di induzione (n.° 10, istessa figura); l'asta *a* termina con uno specchietto metallico *à*. *Qualunque sia il punto del vaso ove si attacca il polo positivo del rocchetto, è sempre nella parete opposta à a' che si manifesta l'illuminazione.* In un vaso consimile, ma nel quale il vuoto è meno perfetto, nel quale la rarefazione corrisponde a quella dei tubi di Geissler, si vede una linea luminosa violetta partire da *à* ma diretta sempre verso il punto del vaso, quale che sia, ove si attacca il polo positivo.

William Crookes suppone che le particelle di *materia radiante* sieno lanciate con grandissima velocità dal polo negativo normalmente alla superficie dello specchietto metallico *a'* e che esse camminino in *linea retta*, senza urtarsi per via causa l'estrema rarefazione dell'aria. E siccome quei piccoli projettili si spostano senza resistenza e senza urto in seno al vetro, non si produrrà nè calore nè luce; ma, toccando la parete essi perderanno gran parte della loro energia cinetica, e la superficie colpita sarà ad un tempo scaldata ed illuminata.

Collocando nel centro di una palla di vetro (n.° 4 della fig. 262) un pezzo di platino iridato sul quale convergono i raggi partenti da uno specchio metallico fissato al polo negativo, si vede il platino diventare scintillante ed alla fine liquefarsi.

Qualunque sia la forma dello specchio fissato al polo negativo, la materia irradia ancora secondo la normale alla di lui superficie; i tubi 2 e 3 della figura permettono di verificare codesta proprietà.

La materia radiante intercettata da una sostanza solida dà un'ombra. — La materia radiante cammina in linea retta dipartendosi dal polo negativo di una corrente di induzione e non si spande semplicemente in tutte le parti di un tubo riempiendolo di luce, come avverrebbe se il vuoto fosse meno perfetto. Quando i raggi non trovano alcun ostacolo nella loro strada, vanno a colpire uno schermo ed a determinarvi un bagliore fosforescente, e quando sul loro passaggio incontrano una sostanza solida sono arrestati e sullo schermo si projetta un'ombra. Il n.° 1 della figura 262 rappresenta un tubo a foggia di pera nel quale il polo negativo è situato all'estremità più stretta. Verso la metà si trova una croce ritagliata in una foglia di alluminio, e situata in guisa da intercettare una parte dei raggi che partono dal polo negativo, perciò l'imagine di quella croce vien projettata sulla estremità emisferica del tubo, la quale è fosforescente. Appena che la corrente attraversa il tubo, si vede l'ombra nera della croce disegnarsi sulla estremità luminosa. Ora, la materia radiante che viene dal polo negativo è passata da lato alla croce d'alluminio per produrre quell'ombra; il vetro dell'estremità fu colpito e bombardato dalle molecole al punto da scaldarsi in modo apprezzabile e nel tempo stesso subì un altro effetto; la sua sensibilità è stata ammorzata.

La fosforescenza che gli è imposta, dice Crookes, ha stancato il vetro; il bombardamento molecolare ha determinato un cambiamento che impedirà al vetro di rispondere agevolmente ad una nuova eccitazione. Ma la parte coperta dall'ombra non è punto stanca; essa non ebbe fos-

forescenza e quindi è fresca e pronta; perciò se io faccio cadere quella croce — cosa che posso fare dando una leggiera scossa all'apparecchio, — in guisa da lasciare che i raggi partiti dal polo negativo arrivino liberamente sull'estremità del tubo, si vede la croce nera repentinamente mutarsi in una croce luminosa, perchè il fondo non può dar più che una debole fosforescenza, mentre la parte che poc'anzi era coperta dall'ombra nera, ha conservato tutta la sua sensibilità. Malauguratamente l'imagine della croce luminosa si affievolisce e non tarda guari a svanire. Dopo un certo tempo di riposo, il vetro ripiglia in parte la sua facoltà di fosforescenza, ma non ritorna mai sensibile come lo era da principio.

« Ecco dunque ancora un'altra proprietà importante della materia radiante. Essa è lanciata con velocità grandissima dal polo negativo, e non soltanto colpisce il vetro in guisa da farlo vibrare e da renderlo momentaneamente luminoso sin che dura la corrente, ma altresì i colpi inferti dalle molecole sono bastantemente energici per fare sul vetro un'impressione durevole.

I primi esperimenti di Crookes furon fatti quasi tutti sussidiandosi colla fosforescenza che presenta il vetro sotto l'influenza di una « corrente di materia radiante » ma egli trovò dipoi che altre sostanze possiedono codesta facoltà di fosforescenza ad un grado più elevato che il vetro: per esempio, il solfuro di calcio. fosforescente quando fu esposto alla luce, assume una fosforescenza ben più spiccata sotto l'azione della *materia radiante:* Crookes lo prova facendo passare la corrente elettrica attraverso un tubo (n.° 9 della fig. 262) contenente solfuro di calcio. Alcuni piccoli rubini messi in un tubo in cui fu fatto il vuoto (n.° 6 stessa figura) sembrano diventare incandescenti sotto l'urto della *materia radiante.*

Per mostrare che l'energia della *materia radiante* può far girare un piccolo molinello il cui asse è appoggiato su due aste di vetro, si fa uso dell'apparecchio rappresentato (n.° 5 fig. 262). A ciascuna estremità del tubo si attaccano i fili conduttori. Appena che la corrente passa, si vede il molinello spostarsi, rotolare allontanandosi dal polo negativo, come deve avvenire se è vero che le particelle d'aria partono dal polo negativo.

Menzioniamo infine un'altra proprietà, non meno singolare della *materia radiante:* Entro un tubo, nel quale fu assestato sopra gran parte della lunghezza uno schermo fosforescente, si fa passare la corrente di induzione: una linea di luce fosforescente percorre il tubo da un capo all'altro. Se sotto al tubo si mette una poderosa calamita a ferro di cavallo, si vede subito il raggio luminoso abbassarsi verso la calamita. Le molecole di materia radiante lanciate dal polo negativo possono essere paragonate ai projettili che escono da una mitragliatrice e la calamita situata al disotto rappresenterà la terra la cui attrazione curva la trajettoria di quei projettili. La *materia radiante è dunque deviata da una calamita.*

Abbiamo detto che un pallone di vetro di cent. 13,5 di diametro, nel quale il vuoto è spinto al massimo grado coi mezzi di cui disponiamo, contiene ancora un quintilione di particelle d'aria, numero sufficiente per autorizzare a dar il nome di materia radiante al gas che rimane nel pallone.

Per dare un'idea di quel numero enorme, dice Crookes, io foro il

pallone colla scintilla di un rocchetto di induzione. Quella scintilla produce un'apertura affatto microscopica e nondimeno grande abbastanza per permettere all'aria di penetrare nel pallone o per distruggere il vuoto. Supponiamo che ne entrino cento milioni per secondo. Quanto tempo supporreste voi che ci voglia in tali condizioni perchè quel piccolo recipiente si riempia d'aria? Sarà un'ora, un giorno, un anno, un secolo? Ci vorrà quasi un'eternità, un tempo sì enorme che l'imaginazione stessa è incapace di concepirlo a dovere. Se si suppone che si abbia fatto il vuoto in un pallone di vetro di quella grossezza, reso indistruttibile, e che quel pallone sia stato forato all'atto della creazione del sistema solare, se si suppone che quel pallone esistesse all'epoca in cui la terra era ancora informe e disabitata; se si suppone che sia stato testimone di tutti i cambiamenti meravigliosi che si sono prodotti durante il periodo di tutti i cicli dei tempi geologici, che abbia veduto apparire il primo essere vivente e che debba veder sparire l'ultimo uomo; se si suppone che debba durare quanto basta per veder compiersi la predizione dei matematici secondo la quale il sole, sorgente di ogni energia sulla terra, deve ridursi una massa di ceneri inerte, quattro milioni di secoli dopo la sua formazione; se si suppone tutto questo, — colla velocità di entrata da noi ammessa per l'aria, velocità eguale a cento milioni di molecole per secondo, quel

Fig. 61 — Principio della tromba di Sprengel

palloncino avrà appena ricevuto un settilione di molecole. Secondo Johnstone Stoney un centimetro cubico d'aria contiene circa un sestilione di molecole. Per conseguenza un pallone di centimetri 13,5 di diametro conterrà un numero di molecole eguale a $13{,}5^3 \times 0{,}5236 \times 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ vale a dire 1 288 252 350 000 000 000 000 000 di molecole d'aria alla pressione ordinaria.

Per conseguenza, quando l'aria del pallone è ridotta a non esercitare più che la pressione di un milionesimo d'atmosfera, esso contiene ancora 1 288 252 350 000 000 000 di molecole, e se si fora quel pallone per mezzo della scintilla di induzione, per quel forellino dovranno passare 1 288 251 061 747 650 000 000 000 di molecole. Se ne passano 100 milioni per secondo, il tempo necessario pel passaggio di tutto quelle molecole sarà:

Fig. 262. — Esperienze sulla materia radiante.

	12 882 510 617 476 500	secondi
ovvero	214 708 510 291 275	minuti.
ovvero	3 578 475 171 521	ore.
ovvero	149 103 132 147	giorni.
ovvero	408 501 731	anni.

Che cosa si penserà ora se io dico che il settilione di molecole entrerà nel pallone pel forellino microscopico prima che questa conforenza sia finita? Rimanendo costanti le dimensioni dell'apertura, come pure il numero delle molecole, questo apparente paradosso non si può spiegare che col supporre le molecole ridotte a dimensioni quasi infinitamente piccole — in guisa da entrare nel pallone non più con una velocità di 100 milioni per secondo, ma bensì con quella di circa 300 quintilioni. Io feci il calcolo: ma quando i numeri sono così enormi, cessano dall'avere per noi un senso: e quei calcoli sono altrettanto inutili che l'accingersi a contare le goccie d'acqua contenute nell'Oceano.

« Nello studio di questo quarto stato della materia, sembra che noi abbiamo afferrato e sottomesso al nostro potere i piccoli atomi indivisibili che per molte e solide ragioni ponno considerarsi come formanti la base fisica dell'Universo. Abbiam poi appreso da alcune proprietà della materia radiante che essa è materiale come il tavolo che mi sta dinanzi, mentre da altre potemmo dedurre che essa presenta quasi i caratteri di una forza di irradiazione. Noi dunque abbiamo realmente toccato il limite sul quale la materia o la forza sembrano confondersi, il dominio oscuro situato fra il Noto e l'Ignoto. Oso credere che la massima parte dei problemi scientifici dell'avvenire riceveranno la loro soluzione in quel dominio inesplorato, nel quale si trovano senza dubbio le realtà fondamentali, sottili, meravigliose e profonde. »

La teoria del Crookes incontrò, com'era da prevedersi, parecchi oppositori. Uno fra quelli che studiaronsi di combattere più vivamente le idee dello scienziato inglese è il dottore J. Puluj professore alla Università di Vienna. Il detto professore crede che, sotto l'influenza della corrente elettrica, alcune particelle prese dalla massa dell'elettrodo, sieno meccanicamente (non per vaporizzazione) strappate e respinte normalmente alla superficie degli elettrodi con una velocità di traslazione relativamente grandissima. Quelle particelle sono cariche di elettricità statica negativa, e siccome si spostano, servono di veicolo all'elettricità stessa e permettono così il passaggio della corrente da un elettrodo all'altro. Che alcune particelle gasose prendan pur esse parte a codesto trasporto è cosa su cui non può cader dubbio. Ma non sarebbe il gas residuo, la materia radiante che riempie lo spazio oscuro nei tubi di Crookes, sarebbero invece particelle metalliche strappate all'elettrodo che scacciano dinanzi ad esse le particelle dell'aria, nella medesima guisa che nella fiamma di un becco di gas, il getto uscendo scaccia davanti a sè le particelle d'aria e produce uno spazio oscuro in prossimità dell'orificio di uscita. In conclusione, secondo il professore viennese la sottile *materia radiante* di Crookes non sarebbe che la « materia elettrodica radiante » [1].

[1] I professori R. Ferrini e P. Poglianghi in un'opera intitolata la *Luminosità elettrica dei gas e la materia radiante* (Milano, fratelli Dumolard) vengono alla seguente conclusione: « Avendo esposto i caratteri che secondo il Crookes distinguono la materia radiante dall'ordinaria, crediamo di poter affermare, sulle basi delle esperienze dello stesso Crookes, di Hittorf, Wiedemann, Goldstein, Righi, [illegible] e delle nostre [illegible], che quei caratteri ed i fenomeni prodotti da queste scariche non ci sembrano tali da autorizzare l'ipotesi di un nuovo *stato fisico* della materia. »
Nota del Trad.

Dopo questa digressione necessaria intorno all'interessante scoperta del Crookes, torniamo allo studio della scintilla elettrica e prendiamo ad esaminare altre circostanze che influiscono sulle apparenze presentate dalla luce elettrica nel senso generico della frase.

La luce elettrica, come abbiam veduto poc'anzi, appare sotto *forme assai svariate*, bagliori, fiocchi, globi, scintille diverse, ecc., che dipendono da una folla di circostanze: forme e distanze dei conduttori fra i quali si produce la scarica dell'elettro-motore, pressione del gas che separa i due conduttori, ecc. (fig. 263).

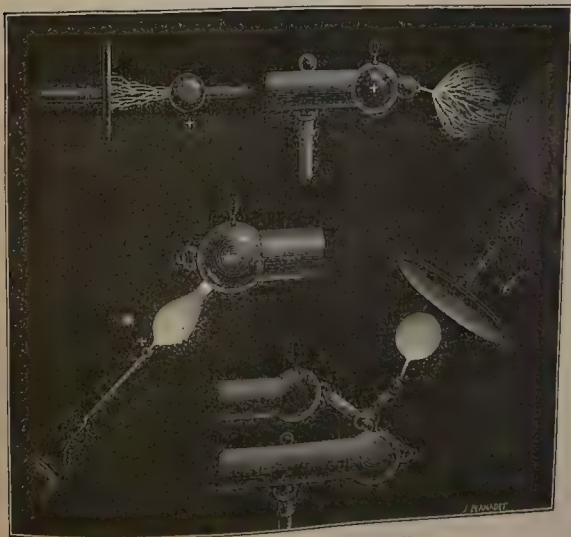



Fig. 263. — Scintille elettriche di varie forme.

Nel modo stesso che i primi fisici stabilirono un'analogia fra i lampi, i tuoni e le scintille rumorose prodotte dalle loro macchine elettriche, nel modo stesso non si può vietar di pensare alla *folgore globulare* allorchè si osservano quelle bolle luminose che si formano fra il conduttore elettrizzato di una macchina ed un disco conduttore che gli si presenta per la faccia. Le osservazioni relative al fulmine globulare sono numerose.

La più recente è stata fatta da Agé, a Vladicaucaso, Pietroburgo. Il 30 luglio 1888, verso sei ore di sera, un gruppo di globi brillanti

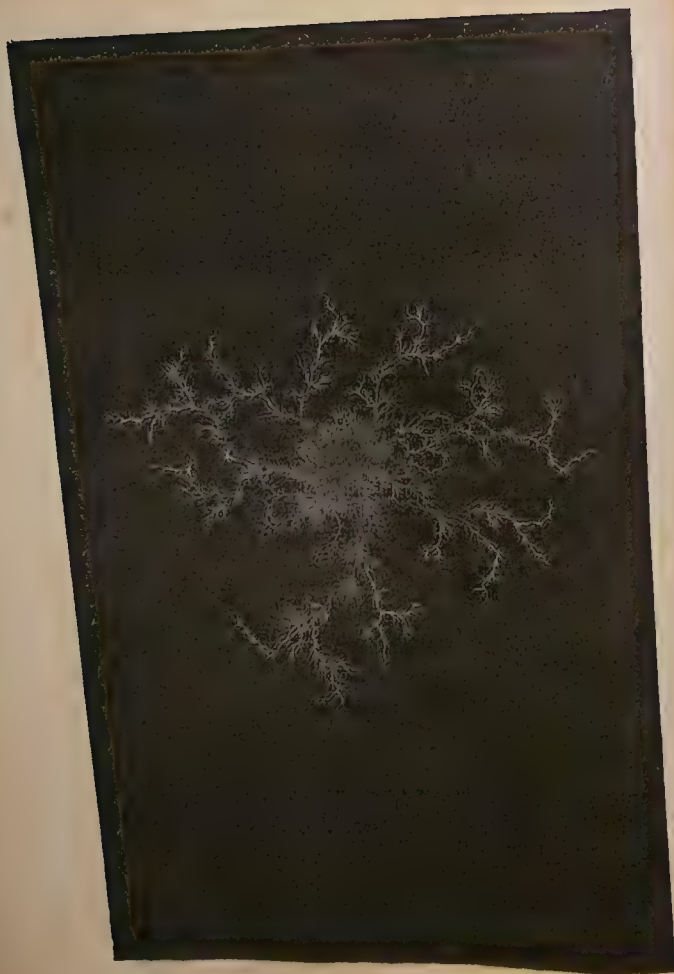



Fig. 251. — Fotografia diretta della scintilla elettrica. Polo positivo.

fu veduto moversi lungo un burrone. Si distinguevano chiaramente tre palle: una grande giallastra, che aveva lo splendore dell'oro, e due piccole palle purpuree sui fianchi della grande. Le ripe del burrone erano illuminate da una luce purpurea. Circa tre minuti dopo, le palle divennero più piccole e disparvero istantaneamente senza fracasso di sorta (1).

Non son molti anni che ad Adrianopoli (Turchia Europea) si vide tutto d'un tratto librarsi nell'aria un corpo luminoso ovale di un diametro apparente cinque volte maggiore che quello della luna. Progredì lentamente, gettando una gran luce sul campo piantato alle porte di Adrianopoli. Si disse che il suo splendore fosse circa dieci volte più vivo di quello di una forte lampada elettrica. All'alba, dell'indomani, si segnalò a Scutari (Turchia Asiatica) una fiamma vivissima, di apparenza sferica, da prima azzurrognola, poi verdastra, molto mobile, che si manteneva a dieci metri d'altezza. Quella fiamma fece più volte il giro dell' imbarcadero di Ferry-boat di Scutari. La sua luce rischiarava la via e le case. Quella meteora splendette per due minuti e finì col cadere in mare. Ciò avveniva l'1 e 2 settembre 1885. E vedi singolare coincidenza, il 3 novembre, si osservava in Francia, in tutto il dipartimento dell'Alta-Marna un bagliore immenso che arroventò l'orizzonte per sparire quasi subito (2).

Dopo l'epoca nella quale Arago segnalava quei singolari fenomeni lungamente messi in dubbio, si pensò di studiarli un po' meglio, ed ecco un esempio che sembra impossibile di contestare (3).

« Passando davanti alla mia finestra che è molto bassa, dice la signora Espert, dimorante a Parigi, *cité Odiot*, n.° 1, fui compresa da meraviglia nel vedere un gran pallone rosso, simile alla luna quando è ardente, che scendeva pian piano dal cielo sopra un albero dei terreni Beaujon. Mentre la mia mente si studiava di indovinare che cosa ciò potesse essere, vidi il fuoco divampare al basso del globo. Si sarebbe detto che fosse carta che bruciava dolcemente mandando piccole scintille; ma poi, tutto ad un tratto, una detonazione tremenda fece scoppiare tutto l'involucro ed uscire una dozzina di raggi di folgore a zig-zag. Uno di quei raggi fece un buco nel muro come lo avrebbe fatto una palla da cannone: finalmente un residuo di materia elettrica si mise ad ardere con fiamma bianca ed a girare come un sole di fuoco d'artifizio. »

Nell'agosto 1885 a Sotteville (Senna-Inferiore), si vide dopo un temporale cader sulla strada un numero non indifferente di piccole palle, le quali toccando la terra lasciavano sfuggire una fiammella rossa. Uno dei presenti mise il piede sopra una di esse e ne uscì nuovamente una fiamma rosso violacea.

Babinet ha trascritto il racconto di quel sarto della via Val-de-Grâce, a Parigi, che in un dì di temporale vide tutto ad un tratto rovesciarsi il paracamino di carta ed uscire adagio adagio dal camino un globo di fuoco grosso come la testa di un fanciullo che girò lentamente per la stanza, poi si diresse verso un foro che aveva servito a farvi passare

(1) *Année scientifique et industrielle*, di Luigi Figuier.
(2) *Causeries scientifiques*, di Enrico de Parville.
(3) *Corso di fisica*, di Jamin e Bouty (t. IV).

il tubo di una stufa, foro che secondo la frase del sartore « il fulmine non poteva vedere » perchè sopra c'era stata incollata della carta. Il globo di fuoco andò dritto a quel foro, staccò la carta senza danneggiarla e risalì per la canna del camino in cima alla quale scoppiò con fracasso orrendo.

Un fatto analogo avvenne nell'ottobre 1885, alle otto pomeridiane a Pera. Il signore Maurocordato, durante un temporale violentissimo, si era rifugiato in una casa occupata da una famiglia che era ancora a tavola. Repentinamente apparve nella stanza un globo di fuoco grosso presso a poco come una melarancia; esso era entrato dalla finestra socchiusa. Il globo sfiorò un becco di gas, poi, dirigendosi verso la mensa, passò fra due convitati, girò intorno al lampadario centrale, fece sentire uno scoppio analogo ad un colpo di pistola, ripigliò la via della strada, e come fu fuori della stanza, scoppiò con fracasso spaventevole.

« Questi casi di « folgore globulare » scrive Camillo Flammarion nel suo libro l'*Atmosfera* sono autentici. Tuttavia è probabile che spesse fiate certi scoppii di folgore, veduti da lontano simulino la forma globulare quantunque non sieno che semplici lampi. Così il 2 luglio 1871, a mezzodì, mio fratello Ernesto Flammarion, trovandosi a Rouen, sotto il peristilio del Palazzo dei Tribunali, fu avviluppato da un vasto lampo di forma circolare che sembrò sollevarsi con violenza dal suolo nell'istante in cui scoppiò la folgore e colpì uno dei parafulmini dell'edificio. Da lungi, si credette vedere una grande palla di fuoco precipitarsi dal suolo verso la nube. Da vicino non era che un lampo. »

In quanto poi al *colore della scintilla elettrica*, esso dipende non solo dal gas che essa attraversa, ma altresì dai conduttori fra i quali scocca. La scintilla è bianca fra due palle di ferro, verde fra due palle di rame, azzurrognola fra due palle di zinco, ed in fine rossa fra due palle di stagno. Per seguire senza fatica quelle variazioni di colore, è bene non impiegare che scintille di poco splendore, per esempio quelle che può dare un piccolo rocchetto di Ruhmkorff.

Si può agevolmente e con un solo sguardo rendersi capaci dell'influenza dei diversi metalli sul colore della scintilla per mezzo di un quadro magico qual è quello che si vede alla parte superiore della macchina di Winshurst a dodici dischi (fig. 229). Esso è formato da polveri di zinco, di rame, di stagno, ecc., appiccicate con gomma ad una piastra di ebonite. La scintilla della macchina va da un polo all'altro, scoccando successivamente, serpeggiando fra i granellini metallici ed assume in ogni punto il colore che dipende dalla natura dei granellini che incontra; essa è verde, rossa o azzurra là ove si trova rame, stagno o zinco.

Il meccanismo di quelle scintille è il medesimo che si osserva nei quadri, tubi o globi scintillanti. La figura 266 rappresenta un globo scintillante, globo di vetro sul quale sono incollati piccoli rombi di stagno che formano una specie di spirale: le punte di quei rombi si trovano a poca distanza le une dalle altre. Mettendo i due conduttori del globo in relazione coi poli di una macchina, si vede una scintilla passare simultaneamente da un rombo all'altro, ed allora la spirale è disegnata da una linea luminosa.

Quei rombi di stagno sono conduttori isolati successivi, che si in-

fluenzano scambievolmente e tra i quali saltano scintille, come fu precedentemente spiegato.

Per istudiare nei suoi particolari la struttura di una scintilla, si può fotografarla.

Oggi si è capaci di fotografare le scintille elettriche la cui durata

Fig. 266. — Globo scintillante.

è pure sì breve. È possibile di cogliere la scintilla così al suo uscire dal polo positivo come al suo uscire dal polo negativo.

Ecco come opera il Rouillée. Sopra un disco metallico n (fig. 267) sorretto da un piede isolante r riposa una lamina di ebonite sottile e larga e seguita da una lastra al gelatino-bromuro la cui faccia sensi-

Fig. 267. — Fotografia di una scintilla elettrica positiva e di una scintilla elettrica negativa

bile è $s\,s$. Al disco n è attaccato uno dei poli del rocchetto B; l'altro polo formato da un filo rettilineo, è disposto verticalmente in f e tocca lo strato sensibile s. In luogo di lasciare che l'interruttore del rocchetto agisca automaticamente, si produce una interruzione colla mano; allora presso l'estremità del filo f che è il polo positivo od il negativo del rocchetto, secondo la posizione occupata dal commutatore, scocca

una scintilla. Quella scintilla impressiona allora il gelatino bromuro e si trova fissata dalla fotografia. Le imagini ottenute presentano le forme più svariate ed è cosa assai interessante farne uno studio comparativo.

Trouvelot aveva fotografato quelle scintille ai poli col medesimo metodo, ma aveva surrogato la piastra di ebonite con una lastra di

Fig. 208. — Lavoisier che determina la formazione dell'acqua facendo scoccare scintille elettriche in seno ad una mescolanza di gas idrogeno ed ossigeno provenienti da serbatoi o gazometri situati a destra ed a manca della figura.

vetro diligentemente verniciato per evitare che la scintilla andasse da un polo all'altro girando intorno alla lastra. Il metodo Trouvelot fu inserito nel resoconto accademico del 29 ottobre 1888.

Bertin aveva ottenuto anche prima d'allora imagini di scintille operando presso a poco come fu spiegato ma con una lastra preparata al collodio secco sensibilizzato. È poi evidente che in queste ricerche si

può sostituire al rocchetto d'induzione una macchina elettrica di Holtz, di Wimshurst o qualunque altra.

Ecco alcune osservazioni di Trouvelot circa i numerosi disegni di scintille da lui esaminati.

« Il polo positivo (fig. 264) dà un'imagine le cui linee più marcate si presentano sotto forma di linee sinuose dalle quali dipartonsi numerose ramificazioni che impartono ad esse una certa somiglianza coi grandi fiumi ed i numerosi confluenti quali soglionsi rappresentare sulle carte geografiche, ma l'analogia non va più oltre. Dai rami principali, come anche dalle diramazioni si stacca una specie di capigliatura arruffata composta di migliaja di ramoscelli dentellati e fittissimi che si intrecciano in tutti i modi. Verso le parti estreme dei lunghi filamenti vedonsi spesso altri ramoscelli corti, indipendenti, ed intieramente separati dai primi. Essi hanno per origine un piccolo punto biancastro, dal quale irradiano formando una o più piccole code, sia semplici, sia ramificate, che danno loro l'aspetto di piccole meteore o di certi gruppi di fuoco d'artifizio. »

Il polo negativo dà un'imagine (fig. 265) di una forma delicata ed elegante che ha un carattere affatto diverso; essa rassomiglia così da trarre in errore a certe piante della famiglia di palmizii. Si rimane confusi riscontrando tale analogia fra un fenomeno luminoso ed un corpo organizzato. L'analogia si spinge sì innanzi che è permesso di credere che un botanico, al quale si presentasse la fotografia dell'estremità di certi rami, crederebbe d'aver a che fare con una pianta e non con un fenomeno elettrico. Non bisogna per altro dimenticare che la scarica elettrica fotografata è la projezione della di lei imagine sul piano dello strato sensibile, per conseguenza essa appare come una pianta conservata in un erbario. È quindi lecito pensare che la scarica elettrica, prodotta nell'aria, ha un'altra forma.

Il bagliore elettrico che di notte sfugge dalla punta terminale del polo negativo di un rocchetto di induzione, presenta il medesimo carattere del fiore aperto a ventaglio che termina i rami delle nostre fotografie prese al polo negativo; una lente di ingrandimento permette di assicurarsi della identità di struttura. Ora, quel bagliore non è punto piatto, esso si espande circolarmente e forma un calice di fuoco, un fiore elettrico, ecco la vera parola.

L'aspetto generale di una fotografia di scintilla elettrica non consente solo di riconoscere se questa è positiva o negativa, ma permette altresì ad un occhio esercitato di riconoscere, date due scintille del medesimo nome, da quale apparecchio fu tratta ciascuna di esse.

Questa differenza di struttura delle scintille positive e negative è da avvicinarsi alle differenze già menzionate a proposito delle figure di Lichtenberg e dei bagliori che destansi sulle punte dei pettini positivi o negativi di una macchina, mettiamo di quella di Holtz. Aggiungeremo a questo proposito che un conduttore, caricato negativamente, emette nell'oscurità bagliori in condizioni nelle quali una carica positiva anche superiore non gliene farebbe emettere. Le numerose diversità che presentano i due modi di elettrizzazione da una parte, e le scariche dall'altra, hanno grande importanza; minuziosamente studiate, aprirebbero forse ai fisici nuovi orizzonti.

Le scintille propriamente dette, che si hanno dai rocchetti di indu-

zione, ricevettero molteplici applicazioni delle quali afferreremo lo spirito studiando alcuni esempi.

Anzitutto, prolungando il filo secondario in guisa che le sue estremità si trovino nel luogo col quale si desidera di mettersi in corrispondenza, si potrà comunicare telegraficamente per mezzo di un linguaggio convenzionale basato sulla frequenza delle scintille che si producono a piacimento coll'interrompere a mano la corrente induttrice che anima il rocchetto della stazione trasmettitrice.

Se si fa in maniera che un projettile, un cavallo, un corpo qualsiasi in movimento produca una interruzione nella corrente induttrice, solo quando passa in certi siti determinati, si potrà, registrando quei passaggi per mezzo del forellino che produrrà la scintilla in un pezzo di carta che gira con moto uniforme, dedurre la velocità del projettile, ecc., fra le stazioni prescelte.

Facendo scoccare la scintilla nell'istante in cui un mobile qualunque passa davanti al rocchetto, quel mobile verrà illuminato per un tempo estremamente breve, sufficiente per altro perchè sia possibile di fotografare il mobile così rischiarato, l'istantaneità del rischiaramento è tale che la velocità che anima il mobile non ha sulla fotografia influenza di sorta. Le cose succedono come se nell'istante che passa fosse immobile.

Lanciata in una mina, si potrà essere certi che la farà esplodere senza presentare gli inconvenienti della miccia che l'operajo accendeva nei tempi andati e che consumandosi progressivamente finiva coll'arrivare alla mina ed a produrre l'esplosione.

Se la scintilla scocca in seno al gas illuminante che sfugge da un becco, il gas si accende. Questo mezzo venne usato qualche volta per accendere istantaneamente e senza incomodo tutti i becchi di una sala. Si potrebbe applicarlo molto bene all'illuminazione pubblica a gas.

Scoccando durante un tempo variabile, secondo il caso, nel seno di un gas composto (fig. 269) spesso essa lo distrugge; l'ammoniaca a cagion d'esempio, vien quasi totalmente decomposta ne' suoi elementi che sono l'azoto e l'idrogeno; altre volte le scintille determinano la combinazione di una miscela di gas; così una mescolanza di idrogeno e di ossigeno sotto l'eccitazione della scintilla, produce acqua, come lo dimostrò Lavoisier (1) in una celebre esperienza. In quei diversi casi essa agisce per virtù del calore che sviluppa sul suo passaggio. La scarica si impiega egualmente sotto forma di scintille oscure e silenziose, o *effluvii* (fig. 270).

---

(1) Antonio-Lorenzo Lavoisier, nato a Parigi il 13 agosto 1743; dopo ottimi studi di chimica e di astronomia, ebbe, all'età di 21 anni, un premio dall'Accademia delle Scienze per una *Memoria sul miglior sistema di illuminazione di Parigi*. egli era rimasto chiuso per sei settimane nella sua camera parata di nero senza vedere altra luce tranne quella delle lampade che esperimentava. A 25 anni diventava membro dell'Accademia delle Scienze. Lavoisier scoprì l'ossigeno e l'azoto. Egli studiò per il primo, dopo il fisico inglese Cavendish, il gas cui diede il nome di idrogeno. La teoria della respirazione la dobbiamo al Lavoisier. Negli anni che precedettero la sua morte i suoi lavori versarono sulla chimica applicata alla fisiologia. Lavoisier nel 1769 aveva ottenuto un posto di appaltatore generale delle gabelle le cui rendite cospicue dovevano metterlo in condizioni di poter supplire alle spese che i suoi studi richiedevano. Ora, il 2 maggio 1794, il convenzionale Dupin depose un atto d'accusa contro tutti gli appaltatori o ricevitori generali e Lavoisier si costituì prigione. Il 8 maggio era condannato a morte con tutti i suoi compagni. Malgrado i suoi titoli all'ammirazione generale, quell'uomo di genio morì sul patibolo: dei ventotto ricevitori generali che morirono in quel giorno esso fu il quarto ghigliottinato.

Noi abbiamo sin qui enumerato gli effetti delle *scariche elettriche*, non abbiamo ancora studiato nulla di ciò che concerne quelli prodotti da una corrente continua, mantenuta da un elettro-motore in un filo metallico che ne riunisce i poli. Per fissare le idee, prenderemo come elettro-motori le pile.

Noi sappiamo già che la corrente elettrica produce intorno a sè un *campo magnetico* (pag. 96); un ago calamitato, situato in quel campo, è deviato; ed Ampère ha collegato al senso di quella deviazione, il senso della corrente (pag. 99). Facendo uso di una cornice contenente un ago calamitato, il che costituisce un galvanometro (come quello della figura 68) si vede che la deviazione rimane la medesima *qualunque sia il punto del circuito ove la si intercala*, sia esso vicino alle pile, fra le pile, lontano dalle pile. Vi ha dunque un'azione sull'ago calamitato che è la medesima, che è costante nelle medesime condizioni *lungo tutto il circuito*. Perciò si può considerare la deviazione dell'ago calamitato come quella che definisce la grandezza, l'intensità

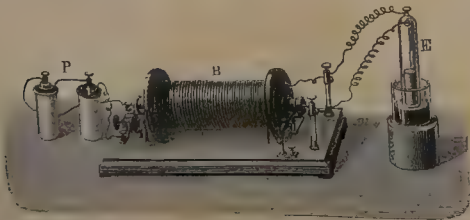



Fig. 206. — Decomposizione del gas ammoniaco mediante una serie di scintille elettriche prodotte dal rocchetto di induzione *B*.

della corrente elettrica. Più grande sarà la deviazione di uno stesso galvanometro intercalato in circuiti diversi e più l'intensità della corrente che produce quella deviazione sarà grande.

Se, *senza toccare la pila*, si cambia il filo che ne riunisce i poli, la corrente varia di intensità, e il galvanometro non segna più la medesima deviazione.

Più il filo è lungo e sottile e più debole è la deviazione dell'ago magnetico.

Si enuncia questo fatto col dire che i diversi fili presentano una *resistenza* diversa al passaggio della corrente. Senza dubbio la corrente che attraversa la pila subisce da questo lato una diminuzione. Fa mestieri considerare nel circuito totale la resistenza del filo che colloga i poli o resistenza *esterna* e quella presentata dagli organi della pila che fanno parte del circuito e costituiscono la resistenza *interna*.

La resistenza di un filo è tanto minore quanto più il filo stesso è corto e grosso; a parità di dimensioni, varia colla natura del metallo di cui è formato il filo. Il rame, a cagion d'esempio, dal punto di vista elettrico è meno resistente del ferro.

Finalmente se, conservando il medesimo filo e la medesima resistenza totale del circuito, si cambia la pila, si osserva ancora una diversità

di deviazione dell'ago magnetico per ogni tipo di pila esperimentato; dunque le diverse pile non sono equivalenti dal punto di vista della corrente che mantengono in una medesima resistenza: si dice che esse hanno forze elettro-motrici diverse.

Un filo, attraversato da una corrente, si scalda tanto più quanto più grandi sono l'intensità della corrente e la resistenza. Il fisico inglese Joule (1) verificò questo fatto misurando il calore ceduto a diversi calorimetri dai fili che vi sono immersi e sono attraversati da una stessa

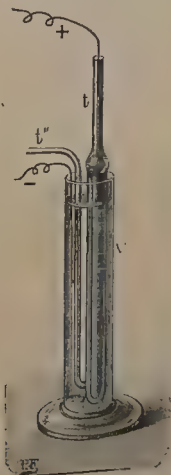



Fig. 270. — Apparecchio ad effluvi elettrici di Berthelot.

V, Provetta di vetro contenente acqua acidulata con acido solforico e nella quale pesca il filo che va al polo negativo del rocchetto. — t', Provetta contenente il gas che si vuole sottomettere all'azione dell'effluvio elettrico, gas condotto dal tubo t''. — Il tubo t disposto secondo l'asse di t' contiene acqua acidulata e riceve il filo che va al polo positivo del rocchetto. La scarica od effluvio, attraversa lo spazio anulare formato dai tubi t e t'.

corrente elettrica. Codesto svolgimento di calore viene spesso chiamato effetto Joule (fig. 271).

Un'ultima azione della corrente che attesa la sua importanza dobbiamo spiegare con tutti i suoi particolari, si è quella che essa esercita

(1) Jacopo Prescott-Joule, nato a Salford (Inghilterra) nel 1818 studiò la chimica sotto la direzione di Dalton; le sue prime indagini si rivolsero al magnetismo e scoprì il fenomeno della *saturazione magnetica*. Nel 1842 formulò la legge che porta il suo nome relativa alla quantità di calore che si svolge in un conduttore per effetto del passaggio d'una corrente elettrica. Nel 1843, pubblicò i primi risultati delle sue ricerche relative all'equivalente meccanico del calore. Dopo lavori notevoli, che comprendono un centinajo di memorie, Joule si è spento a Sale, presso Manchester, il giorno 11 ottobre 1889.

su certi corpi liquidi che attraversa. L'energia della corrente è allora impiegata per provocare reazioni chimiche.

Allorchè una corrente elettrica circola attraverso un conduttore metallico omogeneo, non si produce altro che un riscaldamento di circuito. Nel caso che la corrente passi attraverso un circuito complesso formato di un solido e di un liquido, potranno presentarsi due casi. O il liquido che offre passaggio alla corrente è un corpo semplice (mercurio, bromo, ecc.), ed in questo caso i fenomeni osservati sono identici a quelli che si osservano nel caso dei conduttori metallici, oppure è un corpo composto, ed in questo caso la corrente scalda ancora il liquido ma, di più, spesso lo decompone.

Prima di procedere allo studio di questa nuova azione delle correnti sono indispensabili alcune definizioni.

La decomposizione di un corpo composto nei suoi elementi costitutivi (1) sotto l'influenza di una corrente elettrica prende il nome di

---

(1) Le sostanze sì numerose, che il chimico prepara o studia, sono, generalmente parlando decomponibili in altre sostanze più semplici sino a che il corpo ottenuto non possa essere scisso qualunque sia il mezzo che si impiega. In questa maniera si arriva agli *elementi chimici* o *corpi semplici*. Colle loro combinazioni essi dànno i corpi *complessi* o *composti*.

La tavola seguente contiene i nomi dei *corpi semplici*. Gli uni che sono dotati di uno splendore speciale come l'argento, l'oro, il ferro, ecc., sono *metalli*; gli altri, che in generale non possiedono quello splendore caratteristico, come il fosforo, il solfo, ecc., sono *metalloidi*.

Metalloidi.

	(1)	(2)		(1)	(2)
Ossigeno	O.	8	*Azoto*	Az.	14
Solfo	S.	16	*Fosforo*	Ph.	31
Selenio	Se.	39,75	***Arsenico***	As.	75
Tellurio	Te.	64,5	***Carbonio***	C.	6
Fluoro	Fl.	19	***Silicio***	Si.	14
Cloro	Cl.	35,5	Boro	Bo.	11
Bromo	Br.	80	***Idrogeno***	H.	1
Iodio	Io.	127			

Metalli.

	(1)	(2)		(1)	(2)
Potassio	K.	39	*Zinco*	Zn.	33
Sodio	Na.	23	Gallio	Ga.	35
Litio	Li.	7	Vanadio	Va.	51,3
Tallio	Tl.	204	Cadmio	Cd.	56
Cesio	Cs.	133	Indio	In.	56,7
Rubidio	Rb.	85	Urano	Ur.	60
Calcio	Ca.	20	Tungsteno	Tu.	92
Stronzio	St.	43,75	Molibdeno	Mo.	48
Bario	Ba.	68,5	Osmio	Os.	99,5
Magnesio	Mg.	12	Tantalio	Ta.	91
Manganese	Mn.	27,5	Titanio	Ti.	25
Alluminio	Al	13,50	*Stagno*	Sn.	59
Glucinio	Gl	4,55	*Antimonio*	Sb.	120
Zirconio	Zr.	45	Niobio	Nb.	47
Ittrio	It.	30,85	*Rame*	Cu.	31,5
Torio	Th.	58,5	*Piombo*	Pb.	103,5
Cerio	Ce	47,25	Bismuto	Bi.	210
Lantanio	La.	46	*Mercurio*	Hg.	100
Didimio	Di.	48	Palladio	Pa.	53,25
Erbio	Er	165	Rodio	Ro.	52
Itterbio	It	173	Rutenio	Ru	52
Ferro	Fe.	28	*Argento*	Ag.	108
Nickel	Ni.	29,5	*Platino*	Pt.	98,5
Cobalto	Co	29,5	Iridio	Ir	98,5
Cromo	Cr.	26,25	*Oro*	Au.	98,3

elettrolisi (1), ed il corpo sottomesso all'azione della corrente si chiama *elettrolito.*

Le estremità del conduttore metallico che pescano nel liquido e lo mettono così in comunicazione colla pila elettrica o più esattamente coi poli di un generatore di elettricità, di un elettro-motore portano il nome di *elettrodi* (2): l'elettrodo che conduce la corrente assume spesso il nome di *anodo* (3), quello che serve ad essa di uscita prende il nome di *catodo* (4).

L'esperienza poi mette in evidenza questo fatto particolare cioè, che in qualunque elettrolisi la decomposizione dell'elettrolito non ha luogo che a contatto degli elettrodi e non in tutta la massa, ed inoltre che una parte degli elementi costitutivi si svolge intorno ad uno degli elettrodi e l'altra parte intorno all'altro.

Faraday ha dato un nome a quei due gruppi d'elementi: egli li coi chiamano *ioni* (5), e talfiata si chiama *anion* quello che si svolge al contatto dell'anodo; *cation* quello che nasce intorno al catodo.

I liquidi propriamente detti: acqua, alcool, etere, benzina, ecc., *quando sono allo stato di purezza non dànno in generale passaggio a corrente veruna.* È quindi facile il capire come, in quelle condizioni non possano subire alcuna decomposizione elettrolittica, subito che non c'è corrente. I soli liquidi suscettibili di elettrolisi sono dunque i sali fusi o sciolti, come pure alcuni composti binarii in quelle stesse condizioni.

Si abbrevia la scrittura rappresentando un corpo mediante un simbolo; si indica il solfo con *S*, il ferro con *Fe* l'argento con *Ag*, ecc. Le colonne (1) contengono i simboli che rappresentano i diversi elementi chimici. Oltre a ciò gli scienziati fecero corrispondere a quei simboli dei pesi. Così per esempio, esprimendo tutto in grammi, *Ag* non indica soltanto che si tratta dell'argento ma eziandio di 108 grammi d'argento; *Fe* rappresenta 28 grammi di ferro; *Cu*, 31,5 grammi di rame, ecc. I valori numerici di quei simboli od equivalenti furono stabiliti per soddisfare ad un complesso di analogie chimiche, nell'esame delle quali non è compito nostro l'addentrarci; essi sono registrati nelle colonne (2) del quadro.

Ai diversi corpi composti corrisponde una formola che ne indica la composizione.

Così per esempio, la formola dell'acqua è: HO.

Essa indica prima di tutto che l'acqua è formata di due elementi, che è un composto binario, l'uno è l'idrogeno *(H)*, l'altro l'ossigeno *(O)*; essa vuol dire ancora che in 9 grammi di acqua ci ha 1 grammo di idrogeno ed 8 grammi d'ossigeno.

La formola del sale marino è: $Na\,Cl$, il che vuol dire che 58,5 grammi di sale marino contengono 23 grammi di sodio e 35,5 di cloro.

Il vetriolo azzurro o solfato di rame ha per formola $SO^4\,Cu$, esso è un composto di tre elementi o ternario: solfo, ossigeno, rame, e in 79,5 grammi di vetriolo azzurro vi sono 16 grammi di S + 4 × 8 o 32 grammi di ossigeno + 31,5 grammi di rame.

Il quadro precedente e la formola di un corpo ne fanno immediatamente conoscere la composizione.

I metalloidi combinandosi coll'ossigeno, dànno acidi ossigenati: il solfo *(S)* fornisce così l'acido solforico SO^4H; l'Azoto *(Az)* l'acido azotico $AzO^6\,H$.

Esistono pure acidi non ossigenati, come sarebbe l'acido cloroidrico HCl.

Gli acidi sono corpi che *arrossano la tintura blu di tornasole.* I metalli combinandosi coll'ossigeno dànno ossidi, la massima parte di essi *riconducono al blu la tintura di tornasole arrossata dagli acidi*: questi sono Basi.

Quegli ossidi o Basi, reagendo sugli acidi, danno nuovi corpi che si chiamano *sali*.

L'acido cloridrico e la soda (ossido di sodio) danno il sale marino o cloruro di sodio *(Na Cl)*.

L'acido solforico e l'ossido di rame danno il vetriolo blu o solfato di rame $(SO^4\,Cu)$.

Un sale può essere fuso sotto l'azione del calore o disciolto nell'acqua: più sale c'è disciolto in una stessa quantità d'acqua, e più la dissoluzione si dice concentrata.

Queste nozioni sono sufficienti per l'intelligenza dei fenomeni che presenta l'elettrolisi.

(1) Dal greco ηλεκτρον (electron) e λυω (luò) sciogliere.
(2) Dal greco ηλεκτρον (electron) e οδος (odos) strada, strada dell'elettricità.
(3) Dal greco ανω (ano): in alto.
(4) Dal greco κατα (cata): in basso.
(5) Dal greco ιον (ion): che va verso.

Lo studio dei fenomeni di elettrolisi, fatto dal punto di vista puramente sperimentale, mostra che quei fenomeni obbediscono a leggi uniformi.

Se si elettrizza un sale fuso in un vaso inattaccabile così dal sale fuso come dagli elementi della composizione, ed adoperando degli elettrodi egualmente inattacabili nelle condizioni dell'esperimento, si osserva questo fatto costante che *qualunque sia il sale elettrolizzato, il*

Fig. 171. — Joule che misura il riscaldamento dei fili metallici sui quali passa una corrente elettrica.

metallo che entra nella sua composizione si depone all'elettrodo negativo e la parte non metallica, sia essa semplice o complessa, si svolge intorno all'elettrodo positivo.

L'esperienza può farsi in un apparecchio analogo a quello ideato da Faraday per operare l'elettrolisi del protocloruro di stagno (fig. 172).

Si prende un tubo di vetro in fondo al quale si salda un elettrodo di platino. Una sorgente di calore qualunque, lampada ad alcool o bruciatore Bunsen, mantiene in fusione la sostanza che si è messa in espe-

rimento nel tubo. Finalmente, la corrente vien condotta da un altro elettrodo di grafite *b*, introdotto nella parte superiore del tubo e collegato al polo positivo del generatore d'elettricità: il filo saldato in fondo al tubo vien messo in relazione col polo negativo.

Nell'esperienza di Faraday, l'elettrodo negativo che termina con un

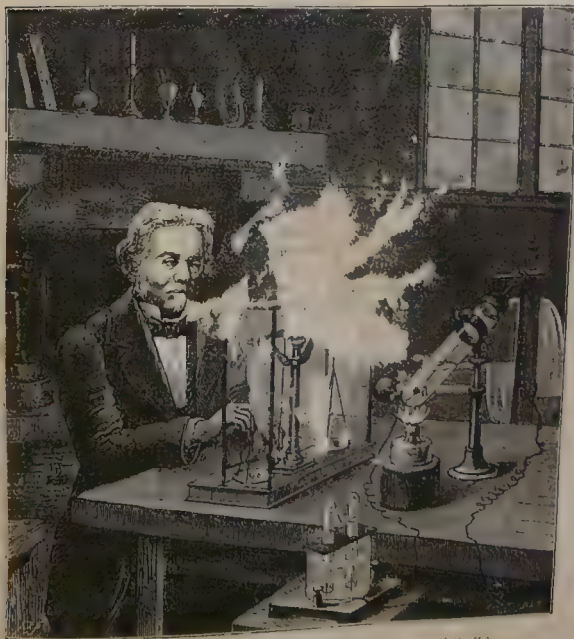



Fig. 272. — Faraday che stabilisce la legge fondamentale della elettrolisi

bottone *a* si copriva di stagno metallico, mentre il polo positivo diventava la sede di uno svolgimento regolare di cloro.

Se in luogo di elettrolizzare del cloruro di stagno si elettrolizza in un apparecchio consimile un solfato, o qualsiasi altro sale od acido ossigenato, si vede come precedentemente rivestirsi il polo negativo di uno strato di metallo, mentre la parte non metallica si porta al polo positivo.

Numerosi composti binarii, gli ossidi in ispecial modo, si elettrolizzano nella medesima guisa; gli è così che se si sottomette all'elettrolisi potassa o soda mantenute in fusione, si vede al polo negativo il metallo (potassio, sodio, ecc.) galleggiare ed ardere al contatto dell'aria ambiente rigenerando l'ossido, mentre il polo positivo è la sede di uno svolgimento regolare di ossigeno.

Ritorneremo più tardi su questo fatto, quando dovremo occuparci delle applicazioni della elettrolisi.

I sali sciolti nell'acqua, sono pur essi suscettibili di elettrolisi, ed in questo caso, l'elettrolisi produce *come principio* esattamente i medesimi effetti che se il sale fosse in fusione, il che è quanto dire che il metallo del sale si deposita esclusivamente sull'elettrodo negativo, e che il radicale acido, sia esso semplice o composto, si svolge sull'elettrodo positivo.

L'elettrolisi dei corpi acidi obbedisce ad una legge analoga.

In qualsiasi elettrolisi di acido, noi vediamo l'idrogeno costitutivo dell'acido svolgersi a contatto dell'elettrodo negativo, il resto della molecola dell'acido, vale a dire ciò che noi chiamiamo nei sali il *radicale acido* si porta all'elettrodo positivo. *Tutto succede quindi come se un acido fosse un vero sale il cui metallo sarebbe l'idrogeno.*

Finalmente gli ossidi metallici in soluzione seguono anch'essi una legge di decomposizione simile. Il loro metallo si porta sull'elettrodo negativo, mentre il loro ossigeno vien messo in libertà a contatto dell'elettrodo positivo.

I sali, gli acidi e le basi od ossidi seguono dunque in ultima analisi una stessa legge di decomposizione elettrolitica.

Le esperienze di questo genere si fanno in istrumenti chiamati *voltametri* (fig. 276). Questi istrumenti, dei quali esistono modelli di forme svariatissime V_1, V_2, V_3, constano tutti essenzialmente di un vaso a pareti isolanti inattaccabile dall'elettrolito e dagli ioni, il quale offre il passaggio a due lamine o fili di metallo, generalmente due fili di platino, che costituiscono gli elettrodi e che si collegano ai poli di un generatore di elettricità. Nei casi nei quali al punto di contatto degli elettrodi si stabilisce uno svolgimento gasoso, quell'assetto di cose consente che si possano coprire gli elettrodi con una piccola campana piena di liquido destinata a raccogliere i gas.

Il fatto capitale di qualsiasi decomposizione elettrolitica è che essa si produce esclusivamente a contatto degli elettrodi. Una spiegazione se non la vera, ma per lo meno assai probabile di questo fatto la si deve a Grothus (1).

Grothus suppone che sotto l'influenza della corrente elettrica le molecole liquide comprese nella sfera d'azione della corrente subiscano prima della decomposizione una orientazione, si polarizzino come si dice frequentemente, girando la loro porzione metallica H verso l'elettrodo negativo, la loro porzione non metallica So^4 verso l'elettrodo po-

(1) Teodoro Grothus, fisico nato a Lipsia il 20 gennajo 1785, pubblicò la sua *Memoria sulla decomposizione dell'acqua e dei corpi che essa tiene in dissoluzione per mezzo dell'elettricità galvanica*, che destò grande rumore in Europa. Venne a Parigi nel [illegible] e fu assaltato dai ladri che gli rubarono le sue belle collezioni scientifiche. Ritornato nella sua proprietà di Geddutz, si occupò di nuove ricerche, ma colpito da una malattia incurabile, si suicidò il 14 marzo 1822.

sitivo (fig. 273). Effettuata quella polarizzazione, la corrente spezza la molecola in due parti che allora si dirigono verso l'elettrodo pel quale hanno maggiore affinità. Ma nel suo tragitto la parte metallica H di una di quelle molecole incontra la parte non metallica So^4 della molecola seguente colla quale torna a combinarsi per dare una nuova molecola di elettrolito. Parimente la parte metallica di questa molecola si ricombina colla parte non metallica della molecola successiva, ecc.

Non rimarrà dunque libera che la parte metallica dell'ultima molecola che non potendo ricombinarsi, si depositerà sull'elettrodo negativo, e la parte non metallica della prima molecola che si sprigionerà a contatto dell'elettrodo positivo.

La decomposizione dei sali, acidi o basi in dissoluzione si complica di frequente pel fatto della presenza dell'acqua del dissolvente, o semplicemente pel fatto dell'azione possibile degli ioni sull'elettrolito, su sè stessi o sugli elettrodi, di *reazioni secondarie* che possono cambiare intieramente l'andamento apparente del fenomeno, al punto di indurre in errore per lungo tempo i fisici che hanno trattato l'elettrolisi.

A tutta prima la massima parte dei radicali acidi ossigenati non son punto stabili, essi non possono persistere nelle condizioni nelle quali nacquero e si decompongono immediatamente a contatto dell'acqua mettendo in libertà l'ossigeno mentre si combinano nuovamente coll'acqua per dare l'acido normale, di maniera che l'elettrodo positivo non è il più di sovente che la sede di uno svolgimento di ossigeno.

Nell'elettrolisi del solfato di rame, per esempio, noi avremo un deposito di rame all'elettrodo negativo e all'elettrodo positivo vi si formerà acido solforico con svolgimento regolare di ossigeno sull'elettrodo stesso.

Per identica ragione, se noi elettrolizzeremo una soluzione di acido solforico o di acido fosforico, quegli acidi produrranno all'elettrodo negativo uno svolgimento di idrogeno, mentre l'acido torna a formarsi all'elettrodo positivo a spese dell'acqua dando ossigeno che si svolge. In conseguenza delle reazioni secondarie che si producono, una quantità finita d'acido può dunque servire ad effettuare la decomposizione di una quantità d'acqua indefinita, circostanza che aveva indotto Carlisle e Nicholson, che per i primi effettuarono questa esperienza nel 1800, a credere che l'acido unito all'acqua non intervenisse affatto in quella reazione e servisse unicamente a rendere l'acqua conduttrice.

Un altro esempio interessante di reazioni secondarie è il seguente:

Noi abbiamo supposto che nell'elettrolisi del solfato di rame gli elettrodi fossero di platino.

In tali condizioni torna a formarsi all'elettrodo positivo acido solforico (SO^4H^2) e si svolge ossigeno. Se in luogo di essere di platino gli elettrodi fossero stati di rame o di tutt'altro metallo attaccabile dall'acido solforico, la reazione che si produce sarebbe la seguente. Il radicale SO^4, messo in libertà a contatto del rame, discioglie questo a misura che si produce ridando solfato di rame (SO^4Cu). Questa volta non ha dunque luogo svolgimento gasoso di sorta, come lo mostra l'esperienza, e tutto succede unicamente come se una parte del metallo (rame) fosse trasportata da un elettrodo all'altro nel senso del passaggio della corrente. In questo caso l'elettrodo positivo prende il nome di elettrodo *solubile*. Questa proprietà è usufruita in galvanoplastica; essa ne è il principio.

Può succedere ancora che uno degli elettrodi pur non essendo attaccabile dai prodotti della decomposizione, sia capace di immagazzinare uno dei prodotti della decomposizione stessa. Gli è ciò che avviene nell'elettrolisi dell'acido solforico diluito fra elettrodi di palladio. Questo metallo scioglie 900 volte il suo volume di idrogeno per dare prima un composto definito *(Pd^2H)*, poi una vera soluzione. Graham, nel 1864, mise in luce per la prima volta questa proprietà, verniciando una delle faccie dell'elettrodo. Siccome l'assorbimento non può essere fatto che dalla faccia non verniciata e siccome il metallo aumenta notevolmente di volume, da quella parte si vede l'elettrodo curvarsi ed anche incartocciarsi sopra sè stesso, essendo la faccia verniciata all'interno.

Gli è appunto in conseguenza delle reazioni secondarie che il solfato di protossido di ferro, che è verde, ingiallisce all'elettrodo positivo quando lo si elettrolizza; sotto l'influenza dell'ossigeno esso si trasforma in solfato ferrico, che è giallo.

Per converso questo, nell'elettrolisi, darebbe all'elettrodo negativo solfato ferroso verde proveniente dalla riduzione del solfato ferrico per virtù del ferro che si è depositato.

Gli è pure per effetto di reazioni analoghe che certi metalli si de-

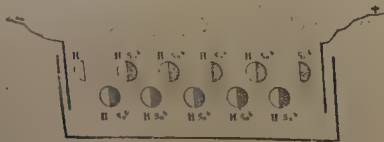



Fig. 53. — Polarizzazione delle molecole

positano all'elettrodo negativo, non allo stato di metallo ma allo stato di ossido, come il piombo ed il manganese *sotto l'influenza di correnti deboli, mentre le correnti intense li depositano allo stato metallico.*

Menzioniamo per ultimo una reazione secondaria assai importante che si produce nella elettrolisi dei sali alcalini. Introduciamo in un tubo ad U (fig. 274) una soluzione di solfato di potassio (sale di potassio, di sodio) colorato con un po' di tintura di viole. Quando la corrente è condotta nei due rami del tubo, si vede nel ramo corrispondente all'elettrodo positivo il siroppo divenir rosso, cosa che indica la formazione di un acido con svolgimento di ossigeno. D'altra parte il ramo corrispondente all'elettrodo negativo *B*, si fa verde con svolgimento di idrogeno, il che indica che vien messo in libertà un alcali. Sembra dunque che il solfato di potassio siasi scisso in acido solforico da una parte, in potassa dall'altra, o che tutto si riduca ad una decomposizione dell'acqua che serve di veicolo.

La formazione dell'acido all'elettrodo positivo, come pure lo svolgimento di ossigeno, si spiegano agevolmente come in precedenza. La presenza della base si spiega pure semplicemente, ove si osservi che i metalli alcalini decompongono l'acqua a freddo producendo un alcali ed uno svolgimento del gas idrogeno dell'acqua.

Il metallo si è dunque depositato all'elettrodo negativo, ma non potendo esistere in contatto coll'acqua, ha reagito immediatamente dando la potassa e lo svolgimento di idrogeno osservato. Perciò facendo uso di un elettrodo di mercurio, si può arrivare a raccogliere il potassio che si scioglie nel mercurio almeno in parte a misura che si forma, e rimane così sottratto all'azione dell'acqua.

Gli esempi di decomposizioni secondarie analoghe sono per così dire in numero infinito. Noi abbiam voluto far menzione solo dei più importanti, sia dal punto di vista storico, sia da quello che servono essi di tipo ad un'intera classe di reazioni.

Noi abbiam dunque indicato ciò che si potrebbe chiamare le leggi qualitative dell'elettrolisi, ci resta ancora da vedere come Faraday potè pervenire all'enunciato delle leggi che reggono le proporzioni d'elettroliti decomposti nel medesimo tempo dalle diverse correnti.

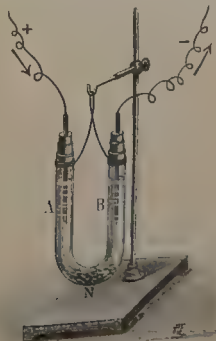



Fig. 274. — Elettrolisi del solfato di potassa (SO^4K). In *N* si vedono pezzetti di solfato di potassa.

I soli apparecchi necessari per questo studio e dei quali fece uso il Faraday, sono l'apparecchio che abbiamo descritto per l'elettrolisi dei sali fusi, ed un voltametro *V* (fig. 275) munito di campanelle graduate necessario alla misura dei gas.

La prima legge sperimentale, enunciata da Faraday è la seguente: *In un tempo dato, una corrente determinata mette sempre in libertà una stessa quantità di idrogeno*, e per dimostrarlo Faraday introduceva in un circuito parecchi voltametri simili o no, che la corrente attraversava successivamente. Quei voltametri contenevano acido solforico allungato, e le quantità di idrogeno messo in libertà nei diversi voltametri in capo ad un medesimo tempo si trovarono eguali quali che si fossero le dimensioni dei voltametri.

In esperienze di questa natura che esigono molte precauzioni, è utile di evitare qualsiasi causa d'errore, sia in conseguenza di reazioni se-

condarie, sia di occlusione dei gas che si svolgono negli elettrodi. Mascart ha mostrato che era preferibile elettrizzare una soluzione molto allungata di acido fosforico prendendo come elettrodi fili di platino coperti da tubi di vetro, eccetto che alla loro estremità. In questa guisa si evitano le reazioni secondarie che si producono nella elettrolisi dell'acido solforico (acqua, ossigeno, ozono, acido persolforico) e si riduce al minimo la perdita di gas dovuta all'occlusione negli elettrodi di platino.

Dallo studio dei fenomeni elettrolitici si può dedurre anche un'altra legge quantitativa.

Prendiamo, come fece Faraday, tre voltametri identici, notando che diremo voltametri identici quei voltametri che, intercalati successivamente in uno stesso circuito, e riempiuti di un medesimo elettrolito, producono in un periodo eguale di tempo una stessa quantità di idrogeno.

Prendiamo dunque tre voltametri identici e poniamoli in un circuito (fig. 275), che partendo dal punto A si divide in altri due circuiti AMB, ANB, identici fra di loro e che si chiamano circuiti derivati.

Collochiamo i voltametri l'uno in V sul circuito principale e gli altri in V_1 e V_2 sui circuiti derivati.

La corrente primitiva darà origine a due correnti che diremo correnti derivate e che per ragioni di simmetria, possiedono un'intensità eguale, e per conseguenza metà dell'intensità della corrente totale.

Ora si verifica che nell'interno dei voltametri V_1 V_2 si sprigionano quantità eguali di gas idrogeno, ed eguali pur anco alla metà di quella che si svolge nel voltametro principale V.

Parimente se in luogo di due stabiliremo tre, quattro, ecc., derivazioni identiche, cadaun voltametro derivato indicherà una quantità di idrogeno eguale a $^1/_3$ a $^1/_4$ della quantità d'idrogeno del voltametro principale.

Se i voltametri non fossero identici il risultato finale non muterebbe, poichè si vedrebbe ancora che la somma delle quantità di idrogeno sprigionato in V_2 e V_3 è eguale a quella sprigionatasi nel voltametro V_1 (fig. 276).

Ecco che noi abbiamo in quel fatto un mezzo di paragonare fra loro diverse correnti, in base all'azione decomponente che esercitano sopra un medesimo elettrolito, ed è evidente che possiamo dire che una corrente è due, tre volte più intensa di un'altra, quando a parità di tempo mette in libertà un peso di idrogeno doppio, triplo, ecc., di quello liberato dall'altra. *Noi possiamo dunque misurare le intensità delle correnti con numeri proporzionali ai pesi d'idrogeno che esse mettono in libertà nel medesimo lasso di tempo*; e, se definiamo l'intensità della corrente per mezzo del voltametro, cosa che possiam sempre fare dicendo che l'*unità di intensità di corrente sarebbe quella che in un secondo rende libero 1 grammo di idrogeno*, vediamo subito che i numeri che misurano i pesi d'idrogeno liberato misurano anche l'intensità delle correnti.

D'altra parte l'esperienza dimostra che codesta definizione dell'intensità concorda perfettamente colla definizione che se ne dà generalmente e che è fondata sulla considerazione dei fenomeni elettro-

magnetici, semprechè il risultato venga subordinato ad un coefficente costante (1).

L'elettrolisi degli acidi sciolti nell'acqua ci ha dunque fornito una relazione tra l'intensità della corrente e la quantità di idrogeno messo in libertà.

Faraday ha immediatamente esteso le sue indagini ai sali fusi, e si è proposto di cercare se esisteva una relazione fra l'intensità della corrente ed il peso del metallo posto in libertà.

Il procedimento sperimentale è il seguente:

Sopra un circuito si pone un voltametro V (fig. 272) contenente, per esempio, acido fosforico allungato, poi un tubo $a\,b$ come quello che fu già descritto per l'elettrolisi dei sali fusi contenenti un sale mantenuto in fusione per mezzo di una lampada ad alcool. La corrente passando simultaneamente nei due elettroliti, succede svolgimento di idrogeno in V, e deposito di metallo in a.

Il volume d'idrogeno dà subito il suo peso P, che è proporzionale alla intensità della corrente, ed il peso P' del metallo depositato in a lo si misura direttamente.

L'esperienza dimostra che il rapporto $\frac{P'}{P}$ rimane invariabile per uno stesso metallo, qualunque sia l'intensità della corrente che passa, e se si valuta quel rapporto, lo si trova precisamente eguale all'equivalente del corpo fissato in base a considerazioni chimiche. (Veggasi il quadro degli equivalenti nella nota a pag. 342.)

Questo fatto che una corrente che mette in libertà P grammi di idrogeno ne mette di necessità P' grammi di un metallo determinato, condusse Faraday a dare a quei rapporti $\frac{P'}{P}$ il nome di *equivalenti elettro-chimici*, poichè essi rappresentano in fatto il peso del metallo che nelle condizioni dell'esperienza corrisponde ad 1 grammo di idrogeno (2).

Abbiamo testè veduto che quegli equivalenti elettro-chimici erano identici agli equivalenti chimici dei corpi, la legge di Faraday si può quindi enunciare come segue:

Quando si elettrolizzano più sali, fusi o disciolti per mezzo di una stessa corrente i pesi dei metalli messi in libertà in un medesimo lasso di tempo sono proporzionali ai loro equivalenti chimici.

La legge di Faraday così enunciata presenta in certi casi ambiguità.

Infatti, l'esperienza dimostra, che se si elettrolizzano due sali di uno stesso metallo con un medesimo acido, per esempio del cloruro ramoso ($Cu\,Cl$) e del cloruro ramico ($Cu\,Cl^2$), i pesi del rame che si depositano nel medesimo tempo all'elettrodo negativo stanno fra loro come 1 sta a 2.

---

(1) Secondo le ricerche più recenti di Mascart, una corrente di 1 ampère mette in libertà in un secondo gr. 0,000 010 415 di idrogeno ossia 1/96600 di grammo, quindi per mettere in libertà 1 grammo di idrogeno in un secondo ci vogliono 96600 ampères.

(2) Ne consegue che se si valutano le intensità di corrente in ampère, il peso di un metallo qualunque messo in libertà da una corrente di 1 ampere sarà 1/96600 E, rappresentando E il suo equivalente chimico.

Edmondo Becquerel, ha mostrato che per un equivalente di idrogeno messo in libertà in un voltametro ad acqua acidulata, vi ha sempre un equivalente di cloro o di acido messo in libertà al polo positivo di un voltametro contenente cloruro di rame.

Si può dunque dire brevemente che è *il metalloide che detta la legge.*

Tuttavia questa regola presenta eccezioni, ed emerge in ispecial modo dalle ricerche di Wiedemann che pei fosfati di soda è il *metallo che detta la legge.*

Infine Matteucci elettrolizzando miscugli di sali ha dimostrato che, a seconda dei casi, era decomposto uno solo dei sali ovvero che tutti i sali della mescolanza lasciavano depositare all'elettrodo negativo una mescolanza dei metalli che contengono.

Ma quando ciò succede, non si deposita che una frazione di equivalente di cadaun metallo nel tempo che si svolge un equivalente di idrogeno in un voltametro ad acqua acidulata posto nel medesimo circuito, e Matteucci ha *verificato che la somma di quelle frazioni era eguale all'unità.*

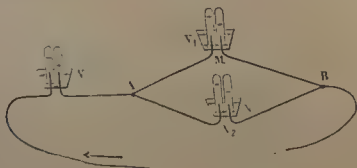



Fig. 275. — Voltametri in circuiti derivati.

L'elettrolisi dei sali viene talvolta complicata da un fenomeno speciale noto sotto il nome di *fenomeno di trasporto degli ioni.*

Prendiamo un voltametro di grandi dimensioni, i cui elettrodi di platino sieno l'uno dall'altro discosti quanto basta perchè si possa agevolmente separarli per esempio, con una tramezza porosa. Se in quel voltametro si elettrolizza solfato di potassa, e la tramezza divide il voltametro in due parti eguali, si verifica, facendo l'analisi delle due porzioni, che manca mezzo equivalente d'elettrolito da ogni parte e che si ha in ricambio un equivalente di acido solforico ($SO^4 H^2$) messo in libertà all'elettrodo positivo, un equivalente di potassa al polo negativo. È questo il caso normale della elettrolisi.

Per certi altri sali, come sarebbe a cagion d'esempio il cloruro di calcio, si riconosce invece che, durante il passaggio della corrente, oltre alla decomposizione dell'elettrolito si ha aumento di concentrazione del liquido intorno all'elettrodo negativo e diminuzione di concentrazione intorno all'elettrodo positivo; e tutto ciò succede come se all'infuori del fenomeno dell'elettrolisi, si producesse un trasporto di sale disciolto da un polo all'altro nel senso della corrente.

Giova notare che cosî fatto fenomeno non si produce mai nel caso di sali fusi.

Questo fenomeno ha ricevuto due spiegazioni. Hittorf suppone che

gli ioni si spostino attraverso l'elettrolito con velocità diverse, ma tale ipotesi non è guari ammissibile.

Un'altra ipotesi consiste nel supporre che la molecola elettrolitica di un corpo differisca dalla sua molecola chimica, e ne sia per esempio un multiplo, un polimero (1). In questo caso, se la molecola chimica è MA e la molecola elettrolitica $M^n A^n$, per esempio, si può supporre che essa si elettrolizzi secondo il simbolo

$$M^nA^n = \frac{M^{n-1}A^{n-1} + A}{+} + \frac{M}{-}$$

Lo che equivale al trasporto di $(n-1)$ molecole chimiche del sale al polo positivo nel medesimo tempo che viene decomposta una molecola di elettrolito.

Pei sali che non danno luogo al fenomeno del trasporto, la molecola chimica e la molecola elettrolitica sarebbero identiche.

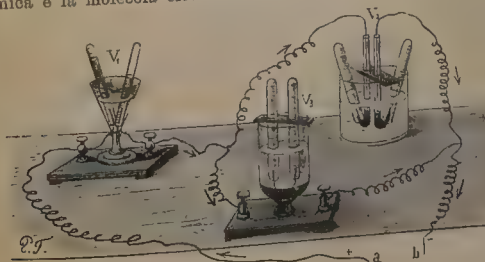



Fig. 276. — Il volume d'idrogeno svolto nel voltametro V_1 posto nel circuito principale è eguale alla somma dei volumi di idrogeno svoltisi nei voltametri V_2, V_3 posti nei circuiti derivati.

Studiamo ora di conoscere ciò che avviene nelle pile?

Faraday, operando sopra una coppia voltaica, aveva osservato che nella coppia stessa si scioglie un equivalente di zinco quando in un voltametro è messo in libertà un equivalente di idrogeno.

Daniell dimostrò il medesimo fatto, ma in un modo alquanto diverso.

Egli prendeva una pila elettrica disposta in maniera che fosse possibile di raccogliere per mezzo di provette l'idrogeno che si svolge sulla lamina di rame sotto l'azione della corrente; egli metteva quella pila in comunicazione con un voltametro contenente acido solforico diluito. Si faceva passare la corrente per un certo tempo e si riconosceva che la quantità di idrogeno sprigionata era la medesima in cadaun elemento di pila e nel voltametro.

(1) Dal greco πολυς (polus) *numeroso*, e μερος (meros) *parti*.

Si ponno dunque enunciare quei risultati nel modo seguente:

1.° Il peso di zinco disciolto dell'elemento di pila ed il peso di idrogeno messo in libertà nel voltametro stanno fra essi come il rapporto dei loro pesi equivalenti;

2.° La quantità d'acqua decomposta in ciascun elemento di pila e nel voltametro è la stessa.

D'altra parte, così nella pila come nel voltametro, l'idrogeno si depone sull'*elettrodo di uscita* della corrente; infatti si deve notare che se nel circuito esterno la corrente va dall'elettrodo positivo all'elettrodo negativo, nella pila va dal polo negativo al positivo: per conseguenza quel polo è, *per la pila* l'elettrodo d'uscita.

Tutte le decomposizioni chimiche richiedono una certa somma di energia per potersi produrre, e siccome la sola sorgente di energia è la pila, si è indotti a pensare che l'energia assorbita dalle decomposizioni sia intieramente prodotta dalla pila.

Siam debitori a Favre di una elegante dimostrazione esperimentale di questo fatto.

Favre adopera il calorimetro che porta il suo nome e per questa esperienza vi introduce due muffole.

Nella prima muffola si mette una coppia voltaica (zinco, acqua acidulata, rame), e per mezzo del calorimetro si misura il calore ceduto dalla coppia in attività.

Nella seconda muffola si colloca un conduttore che si scalda per virtù del passaggio della corrente, e cede egualmente il suo calore al calorimetro. Quel conduttore si scalda più o meno secondo le sue dimensioni.

Si fanno tre letture calorimetriche per ogni resistenza.

1.ª LETTURA. — Essendo la pila nel calorimetro, la resistenza è all'esterno. Sia Q_1 la quantità di calore sprigionata.

2.ª LETTURA. — La resistenza è nell'interno del calorimetro, e la pila al di fuori. Sia Q_2 questa quantità di calore.

3.ª LETTURA. — La pila e la resistenza sono entrambe nel calorimetro. Sia Q la quantità di calore che si svolge. Si trova sempre

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Facendo osservazioni con conduttori diversi ed una stessa pila, si osserva che Q rimane sensibilmente costante; vale a dire che il calore Q_1 aumenta quando Q_2 diminuisce e reciprocamente Q corrisponde al calore svolto dalle azioni chimiche delle quali è sede la pila.

Impiegando assetti identici si può dimostrare che il calore necessario alle decomposizioni chimiche è preso a prestito dalla pila. A tal fine basta mettere in una delle muffole un certo numero di pile ed un voltametro nell'altra e collegarli.

Si trova per la somma delle quantità di calore svolte dall'assieme del sistema di pile e del voltametro un numero inferiore a quello che si troverebbe per le pile se il voltametro venisse eliminato o surrogato da un conduttore equivalente.

La differenza è precisamente la quantità di calore richiesta dalla decomposizione elettrolitica della quale è sede il voltametro.

Ci rimane ancora a parlare di un ultimo fenomeno. Quando la cor-

rente di una pila passa attraverso a un elettrolito, il metallo è trascinato verso l'elettrodo negativo, il radicale verso l'elettrodo positivo, e ciascuno di essi si accumula sull'elettrodo od immediatamente vicino ad esso. L'esperimento (fig. 277) mostra che se in quel momento si sostituisce alla pila P un galvanometro G, o qualsiasi altro istrumento atto ad accusare la presenza di una corrente elettrica, si vede deviare l'ago del galvanometro, che indica così la produzione di una corrente elettrica di senso contrario alla corrente primitiva.

In pari tempo si vedono gli elementi della decomposizione ricombinarsi, e la corrente persiste sin tanto che gli elettrodi rimangono a contatto con una parte qualsiasi degli ioni.

Si dice che gli elettrodi modificati dall'azione della corrente primitiva sono *polarizzati*, e la forza elettromotrice, l'energia che risulta dalla polarizzazione degli elettrodi prende il nome di *forza elettromotrice di polarizzazione.*

Questa forza elettromotrice tende a produrre una corrente di senso contrario a quello della corrente primitiva; essa avrà dunque per effetto di diminuire l'intensità della corrente primitiva. Ed è precisamente ciò che si verifica. Infatti si osserva, che se si mette una pila elettrica in comunicazione con un galvanometro molto resistente, vale a dire che abbia un quadro formato di filo lungo e sottile, ed un voltametro, l'intensità della corrente decresce a poco a poco sino al momento nel quale assume un valore minimo costante. Questo è il momento nel quale la forza elettromotrice di polarizzazione ha raggiunto il suo valore massimo.

L'esperienza insegna, che se si inverte il senso della corrente primitiva, lasciando ogni cosa nel medesimo stato, la forza elettromotrice di polarizzazione cambia di senso, ma non di grandezza, mentre un cambiamento nella natura degli elettrodi o delle loro dimensioni cambia il valore di quella forza elettromotrice.

Inoltre, per un elemento determinato, la polarizzazione rimane la medesima quando la superficie del catodo e l'intensità della corrente variano nel medesimo rapporto. Dal punto di vista della polarizzazione si ha dunque vantaggio a diminuire la densità della corrente, vale a dire l'intensità della corrente per unità di superficie degli elettrodi.

Lippmann ha fatto un'applicazione singolare ed interessante della *polarizzazione degli elettrodi.*

Nell'acqua acidulata (con acido solforico) che galleggia sul mercurio (fig. 278) contenuto in un vaso O pesca l'estremità affilatissima di un tubo verticale E che contiene mercurio. Quel mercurio è limitato nella parte superiore da una superficie sferica (o menisco) che trattiene il liquido nel tubo nella guisa stessa di una vera membrana.

Se si mettono in relazione i due mercurii, per mezzo dei fili *d a* e *c b*, con due punti di un circuito percorso da una corrente, gli elettrodi, che qui sono i due mercurii, si polarizzano e di subito il mercurio si alza nel tubo E; un microscopio M permette di osservare la scomparsa del menisco. Per ricondurre il menisco al posto che occupava sul principio, fa mestieri comprimere aria sul mercurio nel tubo E. La più piccola differenza di potenziale fra i due punti d'attacco dei fili *d a* e *c b* viene così spiccatamente accusata, perciò l'apparecchio di

Lippmann, chiamato *elettrometro capillare*, viene assai impiegato nelle misure elettriche.

Noi abbiamo già veduto, a proposito dal *motografo* di Edison, come la polarizzazione di due elettrodi mobili l'uno sull'altro modifichi l'attrito che si esercita fra le due superficie.

Segnaliamo infine l'influenza esercitata dalla luce su questa polarizzazione. Se si prende come elettrodo una lamina d'argento coperta di solfuro d'argento e la si illumina periodicamente, la corrente varia anch'essa periodicamente e per conseguenza mette in azione un telefono posto nella corrente. Questo è il principio del *radiofono elettrochimico* di Mercadier e Chaperon.

È da notarsi che elettrolizzando un sale fra due elettrodi del medesimo metallo, per esempio un sale di rame fra due elettrodi di rame, non ha luogo polarizzazione. In una tale elettrolisi tutto si riassume nel trasporto di un metallo da un elettrodo sull'altro. Infatti l'elettrolisi non introduce nessuna dissimetria, nessuna differenza fra i due elettrodi.

Questo fatto è confermato dall'esperienza, per lo meno sino a tanto che la corrente principale non è molto intensa.

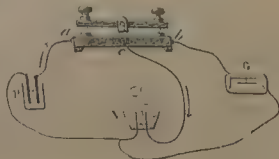



Fig. 277. — Esperimento che mostra la polarizzazione degli elettrodi.

Il fenomeno della *polarizzazione degli elettrodi* consente di costruire delle vere pile, che diconsi *pile secondarie*, e che hanno attinto la loro energia dalle pile che determinarono l'elettrolisi e che son poi le *pile primarie*.

Esistono numerosi tipi di *pile secondarie*. Noi pel momento parleremo solo della pila a gas di Grove.

Quella pila consiste unicamente in una serie di vasi nei quali pescano provette di vetro delle quali una lamina di platino occupa tutta l'altezza. Siccome i vasi e le provette sono pieni di acido solforico diluito e messi in comunicazione con una pila, così ciascuno di quegli apparecchi funziona come un voltametro.

Quando le provette sono piene di gas, si sopprime la comunicazione colla pila e si hanno così altrettante coppie secondarie pronte ad entrare in azione, e che si ponno impiegare associandole in serie oppure in quantità, al pari delle pile comuni.

Le applicazioni correnti delle leggi dell'elettrolisi sono assai numerose e possono essere divise in due categorie.

Nella prima categoria si schierano diversi apparecchi di misura o diversi metodi di dosatura di sostanze contenute in una soluzione, basati sulle leggi di Faraday.

Nella seconda noi troviamo importanti applicazioni industriali: disinfezione degli alcool di cattivo gusto, purificazione od isolamento di diversi corpi (rame, alluminio, fluoro), galvanoplastica, doratura, argentatura, ecc.

Finalmente la cognizione delle correnti secondarie permise di addivenire alla costruzione di diversi apparecchi che, sotto il nome generico di *accumulatori*, sono vere pile secondarie correntemente impiegate nell'industria.

Fig. 278. — Elettrometro capillare di Lippmann.

Passeremo in rassegna quelle diverse applicazioni, soffermandoci su ciò che hanno di più interessante.

Il solo contatore elettro-chimico di intensità che sia un po' pratico è il *contatore di Edison*, sebbene richieda esso pure manovre delicate se si vuole evitare ogni errore.

Esso consta essenzialmente di due voltametri a zinco identici, montati sopra resistenze di rame introdotte nel circuito e regolato in guisa da non lasciar passare che una frazione minima della corrente totale:

$\frac{1}{100}$ od $\frac{1}{1000}$, per non aver poi da pesare depositi troppo gravi. Si esaminano i voltametri ogni quindici giorni ovvero tutti i mesi, servendo uno di controllo all'altro. La lamina di zinco che costituisce l'elettrodo negativo viene allora lavata prima coll'acqua, poi coll'alcool, per evitare qualsiasi ossidazione, seccata e pesata. Una lampada ad incandescenza, situata nella cassetta che racchiude i voltametri, si trova intercalata nel circuito appena che la temperatura si abbassa al disotto di un certo limite; essa ha per iscopo di scaldare tutta la cassetta e di impedire che il liquido geli nei voltametri.

Un altro contatore, parimente dovuto ad Edison, è basato precisamente sul medesimo principio. In questo. i due voltametri sono sospesi al giogo di una bilancia e montati in guisa tale, che quando uno di essi riceve un deposito di elettrolito, l'altro, per converso, perde del suo peso. In altri termini, quando una delle lamine di zinco forma l'elettrodo negativo in uno dei voltametri, l'altra forma l'elettrodo positivo dell'altro voltametro.

La bilancia è inoltre preparata per oscillare quando vi ha fra i due zinchi una differenza di peso determinata (per esempio 1 grammo). Il movimento di oscillazione del giogo fa ad un tempo avanzare di una divisione l'ago di un contatore, dall'altra parte inverte la corrente nell'interno dei voltametri, di maniera che quello che prima perdeva di peso ora ne guadagna e reciprocamente. Questo contatore può dunque manovrare indefinitamente.

Benchè molto ingegnoso, questo apparecchio non entrò mai nel dominio della pratica.

Le proprietà elettrolitiche delle correnti permettono altresì di separare e persino di dosare certi metalli nelle loro soluzioni saline. A tal uopo si parte dal principio che certi metalli non sono precipitabili per elettrolisi se non sono in soluzioni molto acide: oro, platino, mercurio, argento, ecc., mentre altri non possono depositarsi che in soluzioni neutre ed anche alcaline: cadmio, zinco, cobalto, nichel, ferro. Infine, altri metalli si depositano sull'elettrodo negativo sotto forma di biossido: piombo, manganese, ecc.

Nei laboratorii ove si fanno molte analisi elettrolitiche, si impiegano a preferenza, come generatori di corrente, macchine dinamo a correnti continue, che studieremo in seguito, suscettibili di depositare circa 1 grammo di rame in quattro ore.

I diversi metalli si precipitano successivamente in seno di uno stesso liquido nell'ordine delle loro affinità.

Gli apparecchi impiegati nell'analisi elettrolitica sono molto numerosi, e perciò ci staremo paghi a descriverne uno fra i più usitati. Esso consta essenzialmente di un crogiuolo di platino, messo in comunicazione con uno dei poli di una pila, nell'interno del quale può discendere un cono rovesciato pure di platino che si mette in comunicazione coll'altro polo.

È sempre su quel cono che si effettua il deposito metallico. Un imbuto di vetro, rovesciato, copre tutto il sistema, ed impedisce ai gas che si sprigionano di trascinare le goccioline liquide.

Finalmente si può scaldare tutto l'apparecchio a bagnomaria od a bagno di sabbia.

Per fare un'operazione si lava il cono, lo si getta nella stufa e lo

si pesa, poi si incomincia l'elettrolisi che si continua sino alla completa decomposizione dell'elettrolito.

Dopo ciò si ritira il cono, lo si lava con acqua, poi con alcool, lo si fa asciugare e lo si ripesa. La differenza fra quel peso ed il peso primitivo dà il peso del metallo depositato.

Questo metodo di analisi da alcuni anni in qua ha preso una grande importanza; si potè applicarlo con buon esito alla separazione di metalli, come il ferro, lo zinco, il nichel, che si trovavano misti al rame, ed alla dosatura di quei metalli presi isolatamente.

La durata di una precipitazione completa ascende qualche volta a diverse ore; in media si mettono in libertà da 10 a 20 centigrammi di metallo per ora.

Le applicazioni industriali sono assai più numerose.

Gli alcool dell'industria sono bene spesso imbrattati di proporzioni variabili di aldeide, che loro imparte un sapore bruciante ed un odore sgradevole; per purificarli e purgarli agevolmente da tale difetto basta assoggettarli all'azione di una coppia voltaica, la coppia zinco-rame.

Sotto l'influenza di quella coppia che si ottiene senza fatica bagnando per alcuni secondi alcune lamine di zinco in una soluzione di solfato di rame diluito, l'acqua che accompagna sempre l'alcool viene decomposta, e l'aldeide, fissando ossigeno nascente, si trasforma integralmente in alcool che non rimane più che da rettificare. Una rettificazione ordinaria non avrebbe prodotto alcun risultato prima del trattamento chimico.

Si potè pure, sempre per elettrolisi, procedere facilmente al candeggio o sbiancatura rapida dei tessuti; ma qui sembra che si abbia a che fare con un fenomeno di ossidazione.

L'affinatura dei metalli col metodo elettrolittico presenta il vantaggio di precipitare allo stato insolubile le più piccole traccie di metallo prezioso (oro, argento).

Il metodo da impiegare è perfettamente generale; esso si applica a qualsivoglia metallo da affinarsi. Si elettrolizza un sale appropriato del metallo, impiegando come anodo il metallo impuro che si tratta di purificare. Il metallo va a depositarsi sul catodo, mentre le impurità cadono sul fondo del bagno ove formano una specie di mota che si può raccogliere.

In queste diverse questioni importa agire con correnti la cui *densità* (1) sia bene determinata.

Per raffinare, a cagion d'esempio, il rame si elettrolizzerà solfato di rame fra due elettrodi di rame (2). Il rame precipitato verrà poi fuso.

Pel piombo, si elettrolizza una soluzione di solfato di piombo nell'acetato di soda, avendo cura di far cadere gradatamente il piombo che si deposita in fondo al bagno ove lo si raccoglie.

Finalmente elettrolizzando una lega d'oro e d'argento, o il rame preso come anodo col solfato di rame come elettrolito e lamine di rame come catodi, l'argento e il rame si sciolgono, e l'oro cade in fondo al

(1) La densità di una corrente è il rapporto dell'intensità della corrente stessa alla superficie dell'elettrodo.

(2) Non si deve oltrepassare una intensità di 1 ampère per decimetro quadrato di catodo. L'unità pratica di intensità d'una corrente vien detta *ampère*.

bagno. Per poterlo raccogliere più agevolmente si pianta l'anodo nell'acido solforico diluito contenuto in un vaso poroso tuffato in mezzo al bagno.

Con un metodo analogo si può raccogliere lo stagno dalle vecchie lamine di latta.

Le proprietà elettrolitiche delle correnti vennero d'altra parte usufruite per preparare di punto in bianco diversi corpi semplici.

Nel 1886, Moissan, professore di chimica alla Scuola superiore di farmacia, pervenne ad elettrizzare l'acido fluoridrico secco, preparato col metodo di Fremy e reso conduttore da una piccola quantità di fluoridrato di fluoro di potassio parimente secco. In tali condizioni si sprigiona idrogeno all'elettrodo negativo e fluoro all'elettrodo positivo.

L'acido è contenuto in un tubo ad U (fig. 279) di platino, ciascuno dei cui rami è munito di tubi laterali $l\,t$ che servono allo svolgimento del gas. Cadaun ramo è chiuso da un tappo (fig. 280) di fluorina (fluoruro di calcio) che lascia passare un'asta di platino iridiato (contenente 10 per 100 di iridio) il quale serve da elettrodo. Il tubo è mantenuto nell'interno di un recipiente V dove si fa evaporare del cloruro di metilo, cosa che lo porta ad una temperatura di 20° circa sotto zero.

Moissan potè in questa maniera ottenere all'elettrodo negativo uno sprigionamento regolare di idrogeno. Bisogna guardarsi bene dal lasciar abbassare il livello del liquido al disotto del ramo orizzontale del tubo ad U. Gli elementi dell'acido fluoridrico si ricombinerebbero con esplosione. Venti pile di Bunsen bastano per la decomposizione.

Un altro corpo semplice, che oggidì si prepara in grandi quantità colla elettrolisi, è l'alluminio. Questo metallo, la cui preparazione coi metodi chimici costa assai caro, fu oggetto di numerose ricerche per ottenerlo coll'elettrolisi, direttamente dai suoi minerali.

Senza parlare del metodo di preparazione dei bronzi d'alluminio nell'arco voltaico, per effetto dell'azione di una corrente sopra un miscuglio di rame di corindone (allumina) o di carbone (questo processo dipende più dalle proprietà calorifiche che dalle proprietà chimiche delle correnti), oggidì per preparare l'alluminio vengono usufruiti nell'industria due metodi fondati su principii assai diversi.

Il metodo Minet consiste essenzialmente nell'elettrolizzare la criolite (fluoruro doppio di alluminio e di sodio) mantenuta in fusione ignea. Quel composto dell'alluminio è veramente indicato per un'operazione di questo genere. È un minerale d'alluminio facile da preparare e per di più facilmente fusibile.

L'operazione si fa in una tinozza di ferro, munita nella sua parte inferiore di una specie di vasta coppella di carbone, e nella quale si mantiene in fusione una mescolanza in proporzioni definite di criolite e di cloruro di sodio. Due elettrodi conducono la corrente nel bagno, e per evitare che la tinozza sia attaccata dai prodotti della decomposizione la si mette in derivazione sull'elettrodo negativo.

Perchè l'operazione proceda regolarmente, è indispensabile che la fluidità del bagno e la sua ricchezza in alluminio sieno costanti. A questa condizione si soddisfa aggiungendo successivamente fluoruro d'alluminio nel bagno. I prodotti della decomposizione, che si svolgono all'e-

lettrodo positivo vengono raccolti nella bauxite (1) e rigenerano così i sei decimi dell'elettrolito decomposto (2).

Il metodo Héroux per l'applicazione del quale è sorta a Forges una importante officina, permette di ottenere il metallo per elettrolisi diretta dell'alluminio o dei suoi minerali più comuni. L'allumina, una

Fig. 270. — Elettrolisi dell'acido fluoridrico (*H F*).
Moissan che isola il fluoro e lo fa agire sopra un corpo contenuto in una provetta.

volta che la reazione siasi iniziata, vien mantenuta in fusione dal calore sviluppato dalla corrente.

(1) Idrato di alluminio e di ferro, che fu così chiamato perchè si trova in depositi notevoli in Provenza, nelle vicinanze dell'antica città di Baux.

(2) La reazione elettrolitica richiede una forza elettromotrice di quattro volts.

Si impiega un forno di terra refrattaria, la cui parete inferiore è attraversata da una grossa piastra di carbone agglomerato che costituisce l'elettrodo positivo. Il suolo del forno è leggiermente inclinato e presenta un'apertura che durante l'operazione si mantiene tappata con un turacciolo d'argilla, e che serve allo scarico del metallo in fusione. Per ultimo il forno è munito di un coperchio che lascia passare l'elettrodo positivo e porta un orificio per permettere ai gas di sprigionarsi.

Messi che sieno a posto gli elettrodi, l'apparecchio viene caricato con allumina pura preparata partendo dalla bauxite, poi, per indebolire la reazione, si versa nel crogiuolo una certa quantità di criolite fusa. Il deposito d'alluminio incomincia, l'allumina si fonde, e l'elettrolisi prosegue regolarmente. All'elettrodo positivo si produce uno svolgimento di ossido di carbonio proveniente dall'attacco dell'ossigeno che si svolge sull'elettrodo. Nei casi nei quali voglionsi preparare leghe, bronzi o ferro-alluminio, il metallo col quale si deve fare la lega vien deposto da prima sul fondo del crogiuolo (1).

Fig. 280. — Particolari del turacciolo dell'apparecchio per preparare il fluoro.
A, Liquido da elettrolizzare. — F, Turacciolo di fluorina. — P I, Elettrodo di platino iridiato.
G, Rivestimento di platino.

Un'ultima applicazione importantissima dei fenomeni d'elettrolisi consiste nel deporre alla superficie degli oggetti che si vogliono proteggere od ornare uno strato di metallo più prezioso o meno alterabile di quello del quale l'oggetto stesso è formato.

Si può eziandio proporsi di riprodurre diversi oggetti, statuette, incisioni, *clichés* per la stampa, ecc., depositando il metallo sopra uno stampo appropriato (fig. 281).

Codesto metodo di metallizzazione, detto GALVANOPLASTICA (2), sarebbe stato, a quanto sembra, conosciuto dagli Egizii. Coppe di terracotta, punte di lancia di legno, trovate nelle rovine di Tebe e di Menfi, presentano uno strato di metallo che non rivela nessuna traccia di saldatura nè di lavoro manuale. La formazione cristallina e l'uniformità di quello strato di metallo possiedono tale analogia coi prodotti della *gal-*

(1) L'officina è messa in azione da due macchine dinamo a corrente continua e ad eccitazione indipendente, ciascuna delle quali può fornire 8000 amperes. Il metodo consente di depositare [illegible] grammi di metallo per ampere ora.

(2) Dal nome del celebre fisico *Galvani*, e dalla voce greca πλασσω (plasso) modellare.

ranoplastica moderna, che certi scienziati ammisero che gli Egizii possedessero le nozioni di quell'arte. Gli abbondanti minerali di solfato di rame dell'Africa, che danno il vetriolo di Cipro, nel quale basta di tuffare per qualche tempo un oggetto di ferro per coprirlo di rame, poterono probabilmente mettere gli Egizii sulla via di quella scoperta.

Comunque sia, per noi l'arte della *galvanoplastica* data solo dal 1837. Volta aveva bensì notato che sottoponendo una soluzione di un sale metallico all'influenza della pila, il metallo si depositava al polo negativo; e Brugnatelli, professore all'Università di Pavia, allievo e collega di Volta, aveva anche ottenuto, per mezzo della pila, traccie di doratura sopra medaglie d'argento, ma quelle non erano che indicazioni imperfette.

Jacobi (1), professore all'Università di Dorpat (Russia), esaminando una pila di Daniell, osservò sul manicotto di rame, che pesca nella soluzione di solfato di rame e che forma il polo negativo della pila, una laminella di rame di pochissimo spessore. La staccò e riconobbe che la faccia interna di quella laminettina riproduceva fedelmente le più piccole irregolarità della superficie esterna del manicotto. Quella

Fig. 281. — Forma o stampo per galvanoplastica.

semplice osservazione fatta da quel fisico fu il punto di partenza della sua celebre invenzione.

Un'altra ricognizione, dovuta al caso, gli permise di prendere per forma galvanoplastica una sostanza qualunque non conduttrice. Avendo marcato mediante un segno fatto con una matita di piombaggine (2) un certo numero di vasi di terra porosa destinati a far parte di pile Daniell, si avvide, dopo aver fatto uso di quelle pile, che i segni fatti colla matita erano coperti da un deposito di rame. Ormai si poteva dunque rendere conduttore uno stampo di sostanza non conduttrice, semplicemente spalmandolo di uno strato di piombaggine.

Quando si tratta unicamente di coprire un oggetto di metallo con uno strato di altro metallo, il metodo da impiegare è sempre uniforme

(1) Ermanno Jacobi, nato a Potsdam nel 1700, morto a Pietroburgo nel 1874, si recò a Pietroburgo, si fece naturalizzare russo e fu nominato professore di fisica a Dorpat. Incombenzato nel 1832 di impiantare un telegrafo fra il palazzo d'inverno di Pietroburgo ed il palazzo d'estate di Tsarskoe-Selo, adottò la linea sotterranea coi fili conduttori isolati entro tubi di vetro, e mentre stava eseguendo l'operazione scoprì che si può chiudere il circuito colla terra e risparmiare così il doppio filo nella costruzione dei telegrafi. Dopo questa importante scoperta, Jacobi inventò la *galvanoplastica* e fu eletto membro dell'Accademia delle Scienze di Pietroburgo. Fu in seguito incaricato di formare un reggimento modello di telegrafisti; quei soldati, dei quali egli era capitano, si chiamavano zappatori galvanici.

(2) Carburo di ferro; volgarmente: miniera di piombo.

qualunque sia il metallo che vuolsi depositare. Solo la composizione del bagno elettrolitico è assai variabile e secondo il metallo da depositare e secondo gli industriali.

Affinchè il deposito riesca ben aderente, è indispensabile che gli oggetti sieno perfettamente puliti, per ciò fa mestieri sgrassarli accuratamente con acido solforico od azotico diluiti, per levare le piccole quantità di ossidi che possono coprirli. Gli oggetti vengono poi diligentemente risciacquati, asciugati nella segatura di legno calda e passati alla stufa.

La composizione dei bagni (fig. 282) varia moltissimo.

I depositi di rame si devono fare in soluzioni fortemente acide; a tal uopo si farà uso di una soluzione contenente circa 825 grammi di solfato di rame per 825 centigrammi d'acido solforico a 66 gradi Baumé in dieci litri d'acqua. Si dovrà servirsi di un elettrodo positivo di rame il quale sciogliendosi a misura che il rame si deposita sul catodo, manterrà costante la composizione del bagno (1).

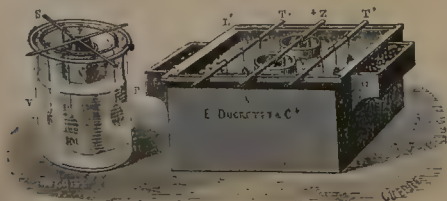



Fig. 282. — Vasche da bagno per galvanoplastica.

Questo metodo richiede una preparazione speciale per gli oggetti di ferro: si tuffano nell'olio caldo mescolato con polvere di rame poi si asciugano nella stufa. Gli è con questo sistema di operare che si ottiene il rivestimento dei candelabri. Un'altra formola permette di coprir di rame il ferro senza preparazione.

Acqua piovana	100 000
Solfato di rame	2 500
Acido ossalico	5 300
Ammoniaca	5 000

Si mantiene la soluzione al grado voluto aggiungendovi di quando in quando una soluzione ammoniacale di rame. Appena sull'oggetto si è formato un primo deposito, si finisce l'operazione seguendo il procedimento precedente.

Per la nichelatura si impiega generalmente la soluzione di solfato di nichel ammoniacale nella proporzione di 800 grammi circa per 10 litri d'acqua; ed anche in questo caso si fa uso di un elettrodo solubile di nichel.

(1) La densità della corrente da impiegarsi dovrà essere di circa 2 ampères per decimetro quadrato del catodo.

Per ottenere buoni risultati si è obbligati ad usare maggiori cure che per la ramatura. Fa mestieri, per esempio, collocare gli elettrodi ad una distanza minima di 10 centimetri e dare alla tinozza una profondità tale che gli oggetti non peschino oltre i 2/3 circa della stessa: per ultimo, non si devono introdurre gli oggetti nel bagno che dopo chiuso il circuito, e mettere ogni singolo oggetto da nichelare fra due anodi, il che non facendo, una delle faccie sarebbe coperta da un deposito più grosso dell'altra.

Non si può nichelare lo zinco se prima non fu coperto con uno strato di rame.

Pei bagni d'argentatura (fig. 283) e di doratura si fa uso di procedimenti analoghi, se non che le precauzioni da prendersi sono ancora più minuziose. Solo gli oggetti di rame possono essere dorati od argen-

Fig. 283. — Argentatura delle posate.

tati direttamente: gli oggetti formati di metallo diverso dal rame dovranno sempre essere prima coperti con uno strato di quel metallo.

Gli oggetti ben puliti e sgrassati vengono portati in un bagno di bisolfato di mercurio, poi sciacquati e portati nel bagno che deve esser agitato durante tutta l'operazione perchè il deposito sia uniforme.

All'uscita dal bagno gli oggetti vengono lavati col cianuro di potassio, coll'acqua bollente, asciugati nella segatura di legno e passati al brunitojo.

Anche in questo caso si impiegherà come elettrodo solubile una lamina del metallo che si vuole depositare.

Ecco la composizione di diversi bagni di argentatura e doratura:

[illegible]

Cianuro d'argento	250
Cianuro di potassio	500
Acqua distillata	10000

Doratura a freddo.

Cloruro d'oro	200
Acqua	2000
Cianuro di potassio	200
Acqua	8000

Volendo usare quest'ultima ricetta, si deve far sciogliere separatamente il cloruro d'oro ed il cianuro di potassio, mescolare e far bollire circa una mezz'ora.

Infine non è raro il caso che si abbia da depositare ferro sulle lastre di rame che servono per l'impressione. Questa operazione si fa agevolmente immergendo il *cliché* bene sgrassato in un bagno di carbonato di ammoniaca a 1/6 di rimpetto ad un anodo di ferro puro.

Al giorno d'oggi i *clichés* non si coprono di ferro; si preferisce di nichelarli.

Oltre al rivestimento metallico di oggetti quali che sieno, si può anche proporsi di farne riproduzioni metalliche.

A tal uopo si prende colla guttaperca uno stampo in incavo dell'oggetto da riprodursi, eccettuato il caso di oggetti di stucco nei quali si adopera per lo stesso scopo gelatina contenente un po' di cera. In ambo i casi si ha una forma o stampo che non essendo di natura conduttrice non dà luogo a deposito di sorta. La si rende conduttrice spalmandola di piombaggine o grafite per mezzo di una spazzola molle e la si sospende in una soluzione di solfato di rame acido; si prende come anodo una lamina di rame, come fu detto più sopra. Questo procedimento è sopratutto impiegato per ottenere i *clichés* destinati a riprodurre le incisioni sul legno o sul metallo. Quando il deposito galvanico ha uno spessore sufficiente, lo si stacca e gli si cola di dietro una certa quantità di lega da stamperia, per poter eseguire la tiratura senza deformazioni. Con questo metodo si riproducono i *clichés* necessarii alla stampa dei francobolli postali.

I procedimenti elettrolitici permettono eziandio di riprodurre agevolmente sullo zinco un' incisione qualunque. Questa operazione viene comunemente chiamata *gillotage*, dal nome del suo inventore.

Si ricava una fotografia dell'incisione che si vuole incidere, e si stacca la pellicola di gelatino-bromuro dopo aver fissato il *cliché*. Si piglia allora una lastra di zinco spalmata di bitume di Giudea, e la si copre colla pellicola fotografica, indi la si espone al sole. Le parti chiare della prova negativa lasciano passare la luce e perciò rendono in quei punti il bitume insolubile. Dopo un dato tempo di esposizione, si toglie la pellicola e si lava la piastra coll'essenza di terebentina. Si ha così una riproduzione sullo zinco dell'incisione ridotta alle dimensioni che si desiderano, poichè la fotografia permette di impicciolire quanto si vuole.

Si tratta allora la lastra coll'acido nitrico diluito il quale rispetta le parti bitumate ed impressionate e corrode la lastra in tutti gli altri punti. Le parti bitumate che costituiscono l'imagine si staccano dunque in rilievo, e si possono trarre dal *cliché*, così ottenuto e spalmato di inchiostro da stampa, quante copie si vogliono.

In tutte le applicazioni industriali dell'elettrolisi si adoperano oggi come generatori di elettricità le macchine dinamo a correnti continue, mosse dal vapore nelle grandi officine, dai motori a gas nelle piccole. Di rado si usufruiscono le pile elettriche, delle quali si faceva uso quasi esclusivamente da principio. Si ricorre invece più volentieri agli *accumulatori* che durante il giorno vengono caricati con macchine, e forniscono poi di notte con regolarità indiscutibile la corrente necessaria.

Gli *accumulatori* sono fondati sull'impiego delle correnti secondarie, e la pila a gas di Grove, che abbiamo già descritto, può essere considerata come il più semplice degli accumulatori.

Planté e Faure diedero agli accumulatori la forma che conservano ancora al giorno d'oggi, e sotto la quale sono il più di frequente impiegati.

Due lamine di piombo sono arrotolate una intorno all'altra a spirale, mantenute a distanza costante da liste di caucciù e collegate rispettivamente a due serrafili. Questo sistema, il cui unico scopo si è quello di presentare la massima superficie sotto il minor volume possibile, è chiuso in un vaso contenente acido solforico al 1/10 (fig. 284).

Facciasi passare la corrente. L'idrogeno va a sprigionarsi sulla lamina negativa e l'ossigeno darà sulla lamina positiva del biossido di piombo.

Si interrompa la corrente; si verificherà una corrente secondaria intensa, ma di poca durata se la coppia è nuova, poichè lo strato di biossido di piombo formatosi è molto sottile.

A lungo andare, le lamine degli accumulatori diventano porose e suscettibili per conseguenza di immagazzinare grandi proporzioni di gas. In queste condizioni, la corrente secondaria di scarica presenta una grande durata ed una costanza notevole quasi sino alla fine.

Per evitare questo lungo *tirocinio*, Planté fa immergere le lamine di piombo per ventiquattr'ore nell'acido azotico, dopo di che le sottomette all'elettrolisi. Tale trattamento ripetuto per otto giorni consecutivi mette l'accumulatore in istato di funzionare in capo a questo tempo.

Faure per lo stesso scopo ideò di coprire le piastre di uno strato di ossido in luogo di costituirlo a spese della lamina. Inoltre, per diminuire il peso di un elemento, sostituisce alle lamine alcune graticole di piombo coperte con una pasta di litargirio e di minio ad un tempo dolce e sufficientemente porosa.

Gli elementi sono composti sempre di un numero dispari di piastre, essendo le due estreme negative. Per ultimo, la distanza delle due piastre deve essere uniforme, il che si ottiene mettendo nell'intervallo alcune striscie di caucciù.

Gli accumulatori si caricano, sia con una pila, sia con una macchina dinamo a corrente continua, scelta opportunamente. Si possono trasportare agevolmente nel sito ove si desidera di utilizzarli. Si aggruppano in numero più o meno notevole in grandi casse, in quantità oppure in serie.

Vedremo tra breve numerose applicazioni degli accumulatori. Essi vennero messi a contribuzione nell'illuminazione, nella trazione e nella locomozione elettrica.

Riassumiamo prima di tutto in brevi parole quanto importa ricordare di tutto ciò che precede.

Diciamo intanto che esistono *generatori* di energia elettrica molto diversi: nelle macchine elettriche a *strofinio* o ad *influenza*, è il lavoro meccanico consumato per mantenere la rotazione dei dischi mobili quello che fornisce l'energia elettrica disponibile ai *poli* della macchina. Nelle *pile* quella energia proviene dalle *reazioni chimiche* che in esse si effettuano.

Noi abbiam pure veduto che si può ricevere, conservare, immagaz-

zinare l'energia elettrica dei generatori, sia nei *condensatori*, sia negli *accumulatori*. Alle volte quegli apparecchi vengon detti *trasformatori*, pel fatto che, opportunamente aggruppati, accoppiati, si può, come fu detto a proposito della macchina reostatica del Planté (1) (pag. 301), modificare le qualità dell'energia elettrica che contengono.

Il rocchetto di induzione è esso pure un trasformatore prezioso; è più comodo dei precedenti, ma esige, per funzionare, l'azione incessante delle pile di carica: se dieci coppie Bunsen associate in serie non danno tra i loro poli che scintille piccolissime inette a forare la più piccola lamina di vetro quando sono impiegate da sole; intercalate nel circuito primario di un grande rocchetto, possono dare fra i poli di questo, ed in modo continuo, scintille fulminanti che trapassano senza difficoltà grosse lamine di vetro schierate sul loro tragitto.

Codesti risultati interessanti ed utili in molti casi — rammentiamo il compito che sostiene il rocchetto in telefonia — sono di un'importanza secondaria dal punto di vista del trasporto pratico e industriale dell'energia a distanza, il cui studio forma l'oggetto principale del Libro II.

Non si tratta più di adoperare l'elettricità per traforare isolanti, per smovere corpi leggieri (colomba di Archita, danza dei fantocci, ecc.), per mettere in rotazione molinelli o girandole, ecc., ma sono invece gli organi talfiata leggieri e delicati, spesso anche molto pesanti, delle nostre macchine sì svariate che bisogna animare.

E ciò non è tutto: non basta di sollevare ad intervalli regolari un maglio, per esempio, di mettere in azione un utensile a posto fisso, fa d'uopo ancora trasportare per mezzo dell'energia elettrica i vagoni sulle loro rotaje e vincere con essa i venti che si oppongono alla marcia dei battelli o dei palloni.

L'elettricità si presta a tutti gli usi.

Per ragione di economia e di comodità si deve studiare di evitare l'intermediario del vapore usufruendo direttamente l'energia meccanica sparsa con tanta profusione nella Natura e della quale il nostro secolo pensa finalmente di trarne partito.

Quantunque noi sappiamo che le macchine ad influenza permettono la trasformazione ed il trasporto elettrico della energia meccanica, non si è mai pensato di usarle per sciogliere il problema, sì fecondo di conseguenze economiche, di cui ci stiamo occupando. Esse sono buone soltanto per esperienze da laboratorio.

L'apparizione della Città Modello (pag. 225) è il risultato dell'invenzione di macchine nuove che si denominano in via generale MACCHINE DINAMO-ELETTRICHE e delle quali si poterono ammirare tanti modelli sì diversi in apparenza, nelle Esposizioni.

Codesti congegni originali e poderosi, tuttora in piena via di perfezionamento, riposano, come il telefono — che appartiene a questa categoria di invenzioni — sulle proprietà sì singolari e sì feconde dei campi magnetici, sui fenomeni di induzione.

Per l'intelligenza del modo d'agire delle *dinamo*, è indispensabile

(1) A. Planté, nato ad Orthez il 22 aprile 1834, morto a Bellevue il 21 maggio 1889, presentò all'Accademia la sua invenzione degli accumulatori nel marzo 1860 e con essa fece numerosi ed interessanti esperimenti [illegible] folgore, i lampi, le aurore polari, ecc. Egli aveva per motto: *Quaero, Pater, non affirmo.*

esporre qui alcune nuove nozioni e di studiare con maggiori particolari, che non si sia fatto nel capitolo del telefono, il campo magnetico prodotto sia da calamite sia da correnti.

Un campo magnetico, non lo si ripeterà mai abbastanza, è caratterizzato dalle linee di forza che lo solcano e, in ogni punto di una linea di forza, dalla grandezza dell'attrazione o della ripulsione che vi subisce, per esempio, il polo nord di una calamita quando viene introdotta nel campo stesso.

Alle linee di forza non si può attribuire una forma generale; esse

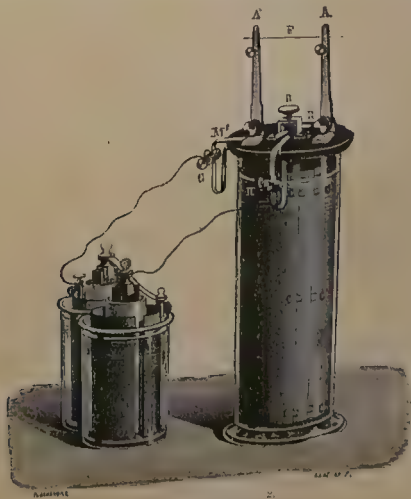



Fig. 281. — Accumulatore.
1. Pile che servono per caricare. — 2. Vaso di vetro contenente i fogli di piombo arrotolati.

assumono aspetti svariatissimi che dipendono dalla forma della calamita o del sistema di calamite che produce il campo magnetico, ed anche da quella dei circuiti attraversati da correnti, se il campo è di origine elettrica. Senza dubbio anche la posizione relativa delle calamite e dei circuiti influisce sulla forma e la distribuzione delle linee di forza nel campo. È noto che quelle linee camminano dalle regioni nord verso le regioni sud (1), ed è questo il senso che loro si attribuisce.

(1) Per una corrente chiusa, la faccia nord (V. pag. 90) è alla sinistra del fantoccio d'Ampère che guarda nell'interno del circuito. Essa si comporta come una calamita piatta formata con un foglio d'acciaio ritagliato in modo che si appoggi sul circuito col suo contorno e la cui faccia nord sarebbe a sinistra della corrente. Una tale calamita è un *foglietto magnetico*.

Noi abbiamo veduto come quelle inafferrabili linee di forza sono rivelate dall'orientazione che, sul loro tragitto, prendono alcune piccolissime calamite o, ciò che torna lo stesso, da particelle di limatura di ferro che obbediscono esclusivamente alle sollecitazioni del campo.

I disegni ottenuti, fissati colla gomma o colla fotografia, figurano chiaramente lo stato del campo, essi ne dipingono tutte le particolarità.

Vedremo come Faraday e Maxwell abbiano collegato alla conoscenza delle linee di forza di un campo magnetico i diversi effetti da esso prodotti ed in particolare la grandezza ed il senso dei fenomeni d'induzione che vi si manifestano.

La figura 63 (pag. 74) rappresenta lo spettro relativo ad una calamita rettilinea.

La figura 285 rappresenta lo spettro relativo ad una calamita a foggia di U detta anche calamita a ferro di cavallo.

Nella figura 286 si vede lo spettro ottenuto mantenendo fra i poli nord e sud di una calamita una seconda calamita perpendicolare alla prima.

Queste esperienze dimostrano benissimo che lo stato del campo di-

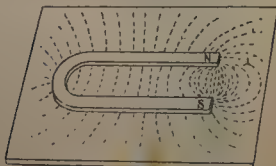



Fig. 285. — Spettro di una calamita a ferro di cavallo.

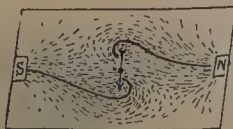



Fig. 286. — Spettro prodotto da due calamite ad angolo retto.

pende dalla forma o dalla situazione relativa delle calamite che lo producono e che le linee di forza divengono sempre più contorte a misura che si moltiplica il numero delle calamite.

Notiamo inoltre che là ove le linee sono stipate, l'attrazione e la ripulsione sui poli della calamita esploratrice del campo è forte, l'*intensità del campo* è grande; essa è per converso debole nei punti ove le linee sono rade e nulla nei punti ove le linee di limatura cessano dal formarsi. Perciò in ogni regione l'intensità del campo dipende dal numero delle linee di limatura che attraversano *una stessa estensione* della regione.

Abbiamo veduto che le correnti elettriche mantengono intorno a sè un campo magnetico.

Come si orientano le particelle di limatura di ferro nei varii casi semplici?

Abbiasi, prima di tutto, una corrente che segue un filo rettilineo (fig. 287). Facciamo passare il circuito nel centro *O* di una lastra di vetro o di cartone, poi, per mezzo di uno staccio, spargiamo sul cartone un po' di limatura; si vede subito la limatura stessa disporsi secondo circonferenze che hanno tutte il loro centro in *O*.

Il senso delle linee di forza dipende dal senso della corrente. Esso

è tale che l'osservatore d'Ampère vede a sinistra tutti i poli nord delle particelle di limatura. Questa è la direzione nella quale la corrente tende a trasferire un polo nord. Se la corrente è ascendente, il senso delle linee di forza è quello della freccia di destra, se è discendente, è quello della freccia di sinistra.

Notiamo altresì che il senso delle linee di forza è quello nel quale bisogna far girare un cavatappi disposto secondo la corrente perchè avanzi nel senso medesimo della corrente. Questa osservazione è spesso chiamata *regola del cavatappi di Maxwell*. Essa stabilisce una relazione semplice fra il senso delle linee di forza di un campo magnetico e quello della corrente che lo provoca.

I circuiti rettilinei o circolari sono i più usitati.

Una successione di circoli, formante un solenoide, dà il medesimo spettro di una calamita rettilinea. Non vi ha differenza di sorta fra gli effetti di quei due elementi.

Ove si allunghi ognor più il solenoide in guisa da farne un lungo rocchetto, questo non orienta più la limatura che verso le sue estre-

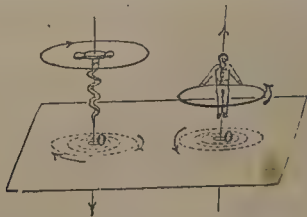



Fig. 287. — Spettro prodotto da una corrente elettrica.

mità allorchè il cartone è situato all'esterno del rocchetto. Se vien posto nell'interno del rocchetto, la limatura è per converso orientata in una regione qualunque. Le linee di forza sono rettilinee, parallele all'asse del rocchetto ed equidistanti; un ago magnetico subisce dappertutto la medesima azione.

Un simile campo, il più semplice che sia possibile concepire, vien chiamato *campo uniforme*.

Più le linee della limatura sono vicine, più i poli della calamita esploratrice sono fortemente attratti o respinti, più il campo è intenso.

Si ponno ottenere campi magnetici risultanti ad un tempo da calamite e da correnti.

La figura 288 rappresenta il campo prodotto dalla calamita N e da un cerchio attraversato da una corrente nel senso della freccia.

La figura 289 rappresenta lo stesso campo, ma nel quale è cambiato il senso della circolazione della corrente.

La figura 290 mostra come le linee di forza della calamita, N ed S, sono modificate dalla presenza di una corrente: le linee di forza della calamita vengono ad attraversare il piano della corrente: esse entrano dalla destra del fantoccio d'Ampère, che guarda verso l'interno

del cerchio (faccia sud), ed escono dalla sinistra, vale a dire per la faccia nord.

È inutile di moltiplicare i fantasmi di campo magnetico. Essi sono in numero infinito.

Ritorniamo al campo uniforme, e mettiamo in quel campo una circonferenza o spira (fig. 291).

Quella spira abbraccia un certo *numero* di linee di forza, al quale bene spesso si dà il nome di *flusso di forza* relativo alla spira.

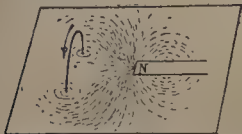



Fig. 288. — Ripulsione delle linee di forza derivante da una corrente circolare che presenta la sua faccia nord al polo nord di una calamita.

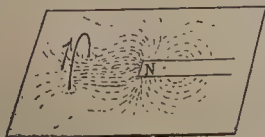



Fig. 289. — Attrazione delle linee di forza dovuta ad una corrente circolare che presenta la sua faccia sud al polo nord di una calamita.

Quel flusso ha il suo massimo valore allorchè il piano della spira 1 è perpendicolare alle linee di forza, vale a dire alla *direzione* del campo. Se la spira si sposta parallelamente a sè medesima, se va nel posto 2, il numero delle linee di forza che la attraversano resta invariabile. Più la spira è inclinata sulle linee di forza 3, più il flusso è debole; esso si annulla quando la spira è parallela alla direzione del campo.

Facendo combaciare 2, 3, 4, ecc. spire, il flusso varia, qualunque sia lo spostamento della spira. Si vede (fig. 292) che il flusso relativo

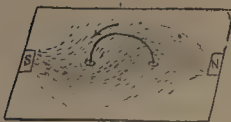



Fig. 290. — Spostamento delle linee di forza dovuta all'azione di una corrente il cui piano è parallelo alla linea dei poli.

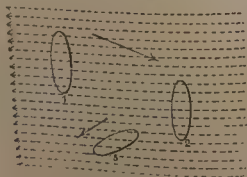



Fig. 291. — Variazione del flusso di forza risultante dallo spostamento di una spira in un campo magnetico uniforme.

alla spira aumenta quando essa si sposta da 1 in 2 e diminuisce da 5 a 6, ecc.; nel caso della figura 292 il campo è prodotto da una calamita rettilinea.

Giova famigliarizzarsi colla nozione del flusso di forza e colla grandezza delle variazioni che esso può subire nelle diverse circostanze. Queste sostengono una parte fondamentale nei fenomeni di induzione e, per conseguenza, nel giuoco delle macchine dinamo che dobbiamo spiegare.

Non è punto necessario di costruire un rocchetto molto lungo per possedere un campo magnetico uniforme; la natura ce ne offre uno al quale si è dato il nome di *campo magnetico terrestre* e del quale si ignora la vera causa. Codesto campo terrestre è uniforme se lo si con-

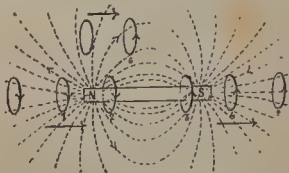



Fig. 292. — Variazione del flusso di forza risultante dallo spostamento di una spira nel campo di una calamita rettilinea.

sidera sopra una piccola estensione, è desso che rende possibile la *bussola* orientandone l'ago nella direzione nord-sud. In tutti i luoghi passa un piano verticale che contiene i poli celesti e che si chiama *piano meridiano astronomico* del luogo. Il sole attraversa quel piano quando in quel luogo è mezzogiorno. Se si pone un sottile ago magnetico

Fig. 293. — Bussola di declinazione.

Fig. 294. — Bussola di inclinazione.

mobile in un piano orizzontale intorno al suo centro (fig. 293), esso si fissa in un piano verticale che si chiama *piano meridiano magnetico* del luogo. L'angolo formato dal meridiano astronomico e dal meridiano magnetico è chiamato la *declinazione* del luogo. La considera-

zione della declinazione magnetica fu introdotta da Cristoforo Colombo nel 1492.

Se per converso l'ago calamitato (fig. 294) è mobile intorno al suo centro nel piano meridiano magnetico, esso si inclina sull'orizzonte di un angolo al quale si diè il nome *inclinazione magnetica del luogo.* In questa posizione l'ago calamitato è diretto precisamente secondo le linee di forza del campo magnetico terrestre che passano nel punto ove esso è posto. La considerazione dell'inclinazione magnetica è dovuta a Norman (1576).

La determinazione degli angoli di declinazione e di inclinazione in ogni punto della Terra, e lo studio delle variazioni che quegli angoli subiscono, costituiscono un capitolo importante della fisica del globo (1).

Vediamo ora quali sono i campi magnetici di cui si giova la pratica. Ordinariamente i campi magnetici delle macchine industriali si producono per mezzo di *elettro-calamite.* Questi apparecchi furono già da noi studiati in addietro (pag. 103) e si è pure spiegato come, essendo dati l'avvolgimento dei circuiti ed il senso della corrente, si riconosca la natura dei poli che si creano alle estremità della elettro. Nulla si cambia se si curva il ferro dolce, per esempio, a foggia di ferro di cavallo, e se si sopprime, come ordinariamente si pratica, un certo numero di spire: quelle che coprono la parte centrale del nucleo.

Le elettro-calamite sono molto comode: in fatti esse non sono calamitate che durante il passaggio della corrente, e quella magnetizzazione può variare entro limiti molto ampii allorchè si fa uso di correnti elettriche sempre più forti; oltre a ciò, rovesciando il senso della corrente, si cambiano i poli. Giova dire per altro, e questo rimarco ci sarà utile più innanzi, che i nuclei delle elettro non essendo formati di ferro perfettamente dolce, la calamitazione *temporaria* dovuta alla corrente non cessa completamente al cessare di questa: rimane un residuo di calamitazione al quale si diede il nome di *calamitazione residua* od anche *rimanente* (2). Si esalta codesta calamitazione residua assoggettando il nucleo ad azioni meccaniche: colpi, vibrazioni, torsioni, ecc., durante il passaggio della corrente magnetizzante. Le elettro-calamite ricevono forme svariate, le loro estremità o *pezzi polari* possono essere svitate e surrogate con pezzi di forma diversa (fig. 295). Quando sono costituite da due piani che si fronteggiano, il campo è sensibilmente uniforme nella parte media. La forma del campo dipende quindi da quella dei pezzi polari. Esaminiamo ora come si modifichi il campo introducendovi pezzi di ferro di diverse figure. Abbiamo già ve-

(1) Al parco Saint-Maur presso Parigi, alla longitudine [illegible] 23 ed alla latitudine nord di 48° [illegible] la declinazione era uguale a 15° 52 [illegible] e l'inclinazione a 65° 14 7. Nel secolo XVI la declinazione [illegible] nulla, poi si è fatta occidentale. [illegible]

(2) [illegible] delle dinamo.

duto (fig. 65) che le linee di forza si accumulano sul ferro dolce e lo attraversano, il flusso è aumentato in vicinanza ad esso. Questo fatto si esprime dicendo che il ferro dolce è più *permeabile* alle linee di forza che l'aria di cui occupa il posto. Queste abbandonano in gran numero l'aria per precipitarsi sul ferro dolce.

Si chiama *circuito magnetico* la via seguita dalle linee di forza, più esse si radunano in una data direzione e meno *resistente* è il circuito in quella direzione.

Un caso importantissimo è quello in cui si pone un anello di ferro dolce fra i poli di una calamita o di un'elettro-calamita (fig. 296). Si vedono le linee di forza dividersi in due porzioni principali: l'una segue la metà superiore dell'anello, l'altra la parte inferiore, e solo pochissime varcano lo spazio limitato dell'anello; altre vanno dal polo nord al polo sud attraverso l'aria. Le linee di forza si scostano principalmente nelle due metà dall'anello. Si sa già (pag. 76) che sulle parti dell'anello per le quali penetrano le linee di forza si manifesta una regione sud ed una regione nord sui punti ove esse escono dall'anello.

Cabanellas (1) ha dato il nome di *intraferro* alle regioni che separano l'anello dai pezzi polari; esse ordinariamente sono piene d'aria. Più l'intraferro è piccolo e più numerose sono le linee di forza che si concentrano sull'anello.

Fig. 295. — Pezzi polari usuali per elettro-calamita da laboratorio.

I pezzi di ferro dolce così introdotti in un campo magnetico si chiamano spesso *armature* od ancore.

Che cosa succede quando l'armatura vien applicata sui poli di una calamita, per esempio di una calamita a ferro di cavallo? (fig. 297).

Pressochè tutte quante le linee di forza vanno da un polo all'altro d'una calamita attraverso l'armatura; esse seguono il circuito formato dalla calamita e dall'armatura.

L'azione del sistema sopra un ago magnetico collocato nelle vicinanze sarebbe affatto nulla, se nessuna linea di forza sfuggisse nell'aria.

Le linee di forza agiscono come vere catene passate nell'armatura, o contatto per attaccare l'armatura stessa alla calamita: infatti l'esperienza dimostra che per strappare il contatto fa mestieri sospendere al gancio di cui è munito pesi spesso considerevoli.

Il peso che determina lo strappo è la *forza portativa della calamita*, essa aumenta quando si carica la calamita in modo progressivo in

(1) Cabanellas Gustavo, nato nel 1839, morto il 10 ottobre 1888. Prese lo stato di riposo come capitano di fregata nel 18[illegible] ebbe parte attiva nel movimento elettrico di questi ultimi anni. Fu uno dei fondatori del giornale la *Lumière électrique*, nonchè della Società Internazionale degli elettricisti.

luogo di caricarla in un solo tratto. Caricare progressivamente il contatto di una calamita si dice *nutrire la calamita.*

Si vede nella figura 298 una bilancia che serve ad indagare come varii la forza portativa di una calamita da un punto ad un altro;

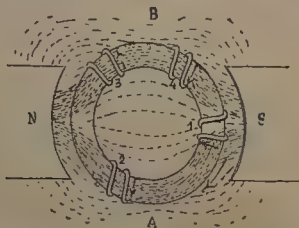



Fig. 296. — Modificazione portata nella distribuzione delle linee di forza di una calamita o di un'elettro-calamita *N S*, dall'introduzione di un anello di ferro dolce fisso. Senso delle correnti indotte nei fili 1, 2, 3, 4, quando l'anello gira nel senso della freccia.

questa variazione fa conoscere quale sia la distribuzione delle linee di forza lungo la calamita.

Se si calamita un anello d'acciajo contornandolo completamente con le spire di un circuito (fig. 299) esso non esercita azione veruna sopra un ago magnetico che gli si presenti, e tuttavia è calamitato poichè, spezzandolo ciascun pezzo si comporta come una calamita. Ciò succede perchè le linee di forza non potendo sfuggire dalle spire magnetizzanti rimangono tutte confinate nell'anello.

Fig. 297. — Calamita a ferro di cavallo munita della sua armatura. Le calamite si conservano in circuito magnetico chiuso.

Sin qui noi abbiamo studiato unicamente, per mezzo della limatura di ferro, alcuni sistemi nei quali le calamite od i circuiti sono mantenuti immobili, e le modificazioni recate nei loro campi magnetici dalla introduzione di armature mantenute egualmente fisse. Che cosa succederà se si lascia la libertà di muoversi agli elementi di un tale sistema? Si vedranno le calamite ed i circuiti prendere da sè medesimi, sotto l'azione delle linee di forza, movimenti di traslazione, di rotazione, ecc., secondo i legami ai quali sono soggetti. Se si può fare in guisa che quei movimenti si producano automaticamente ed in modo continuo, si saranno tradotti in fatto dei *motori elettrici.* L'esperienza indica un certo numero di regole che fanno conoscere i movimenti che si producono in certi casi semplici. Si conosce già la legge che governa il senso delle azioni reciproche delle calamite e delle correnti, come anche dei corpi elettrizzati.

1.° *Le regioni del medesimo nome si respingono, le regioni di nome contrario si attraggono;*

2.° *Una corrente porta il polo nord di una calamita alla sua sinistra.*

Basta dunque far cambiare automaticamente il senso di una corrente per obbligare un ago magnetico ad assumere un movimento continuo. Se un circuito chiuso è mobile intorno ad un asse perpendicolare alle linee di forza del campo, esso si orienta in maniera da presentare la sua sinistra, la faccia nord, alla regione verso la quale

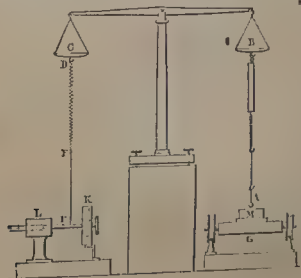



Fig. 298. — Bilancia Jamin per lo studio della forza *portativa* nei diversi punti di una calamita.

si dirigono le linee di forza del campo; il flusso che attraversa il circuito è allora massimo. Se si vuole che il campo non eserciti azione veruna sul circuito, o, come si dice, che quel circuito sia astatico, fa d'uopo costituirlo di due porzioni eguali (fig. 300) che abbiano la loro sinistra dal lato opposto.

Il tavolo di Ampère (fig. 301) permette di rendersi ragione del senso delle azioni esercitate dalle correnti le une sulle altre.

Fig. 299. Anello o toro magnetico.

Se nelle porzioni parallele dei circuiti M ed H si fanno passar correnti del medesimo senso, si riconosce che il quadro mobile H si avvicina al quadro fisso M; dunque *due correnti parallele e del medesimo senso si attraggono.* Invertendo il senso della corrente in uno dei due circuiti per mezzo del commutatore C, si nota una ripulsione del quadro H; dunque *due correnti parallele e di senso contrario si respingono.*

Spostando il quadro M, in guisa che i circuiti formino un angolo, si giunge a capacitarsi di questo fatto, cioè *che due correnti angolari si attraggono se contemporaneamente si avvicinano al vertice dell'angolo acuto che esse formano o da quello contemporaneamente si allontanano, e si respingono se una si avvicina a quel vertice mentre l'altra se ne allontana.*

Vignes fondò su questi fatti un piccolo motore elettrico. Il quadro C (fig. 302) è mobile nell'interno del quadro M intorno a un asse verticale. Perchè il movimento sia continuo, il quadro C nel girare cambia ad ogni giro il senso della corrente, mercè il commutatore D rappresentato sotto al motore.

Roget mette in evidenza l'attrazione delle spire parallele per mezzo dell'apparecchio rappresentato nella figura 303. Quando passa la corrente, l'attrazione che esercitano le spire le une sulle altre solleva l'elice, che cessa ben presto dal toccare il mercurio contenuto nel vaso G. La corrente è allora interrotta, l'elice ricade, la corrente passa di nuovo ed il movimento alternativo continua indefinitamente.

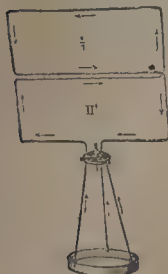



Fig. 300. — Quadro astatico.

Intercalando in un circuito elettrico $B\,F\,B'$ un galleggiante F che riposa sui due rivoletti di mercurio riempienti la vasca C, si verifica che l'equipaggio F si allontana in maniera da aumentare la superficie abbracciata dal circuito (fig. 304).

All'epoca nella quale l'elettro-magnetismo e l'elettro-dinamica fecero la loro apparizione, si sono moltiplicate le esperienze di rotazione delle correnti per virtù dei campi magnetici o delle calamite per effetto delle correnti.

Faremo conoscere anche talune di quelle esperienze.

L'apparecchio rappresentato dalla figura 305 permette di mostrare agevolmente la rotazione continua di due correnti E, F sotto l'azione del polo A di una calamita. La corrente entra secondo la colonna fissa D; discende poi in parte secondo E, in parte secondo F.

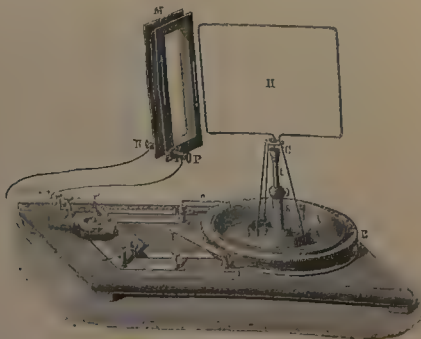



Fig. 301. — Tarolo di Ampère.

Secondo la regola del fantoccio d'Ampère le correnti E ed F hanno per effetto di portare A, la prima indietro del piano della figura e la seconda avanti. Per reazione il polo A porterà dunque E sul davanti del piano della figura ed F indietro, da ciò un movimento continuato

del filo $E\ F$ intorno all'asse D. L'equipaggio $E\ F$ per mezzo di una punta riposa sul mercurio della piccola coppa che termina la colonna D. L'esperimento riesce perfettamente sostituendo al circuito $E\ F$ il cilindro di rame $A\ P$ (fig. 307).

A questo stesso esperimento si può dare una forma più attraente e far girare la scarica di un rocchetto intorno al polo T. La rotazione di quella scarica ottenuta per mezzo dell'apparecchio (fig. 306) obbedisce ancor essa alla legge del fantoccio d'Ampère.

Succede lo stesso anche nel caso di un conduttore liquido; mercurio od elettrolito. La figura 308 presenta l'apparecchio impiegato. Una tinozza annulare c posta sopra un' elettro-calamita H vien riempiuta d'acqua acidulata e porta i galleggianti f ed f'. Quando la corrente passa nel liquido, lo si vede girare trascinando i galleggianti alla destra del fantoccio di Ampère.

Questa esperienza fu fatta la prima volta da Davy che prese per liquido conduttore il mercurio.

Non è punto più difficile il far girare calamite per mezzo di correnti elettriche. Si dispone in una vasca di mercurio una calamita che si è zavorrata inferiormente con un peso di platino e che superiormente finisce in un bicchierino pieno di mercurio.

La corrente elettrica arriva in quel bicchierino condottavi da un'asta metallica, poi discende lungo la calamita sino alla superficie del mercurio d'onde sfugge per l'intermediario di un anello metallico.

Si vede allora la calamita assumere un movimento di rotazione su sè stessa: l'asta metallica le servè di asse.

Fig. 62 — Motore Vignes

Si può modificare l'esperimento facendo arrivare la corrente per la punta a abbassata sino al livello del mercurio e collocando eccentricamente la calamita $A\ P$. Essa allora si mette a girare intorno alla punta a. La corrente arriva per la punta a, segue il mercurio ed esce lungo l'anello in b (fig. 309).

L'esperienza dimostra che in tutti i casi nei quali una porzione della corrente è posta in un campo magnetico, essa tende ad assumere un movimento stabilito dalla regola seguente:

Il fantoccio d'Ampère collocato nel senso della corrente e colla faccia volta nella direzione del campo, è spostato, trascinato verso la sua sinistra.

Di ciò si può capacitarsi per mezzo delle esperienze precedenti e di altre che ora descriveremo. Lippmann a tale scopo si vale dell'apparecchio seguente: Un tubo ad U (fig. 310) contenente mercurio viene collocato fra i poli di una calamita a ferro di cavallo in guisa tale che le linee di forza del campo magnetico sieno dirette secondo la freccia orizzontale. Dirigendo nel senso indicato dalla freccia una corrente verticale, l'azione elettromagnetica trascina il mercurio di con-

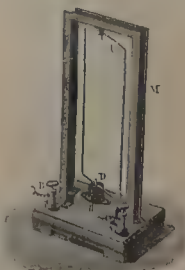
formità alla regola precedente, vale a dire che questo si alza nel tubo di sinistra e discende nel tubo di destra.

Leduc si serve di questo apparecchio, ridotto a dimensioni più piccole e disposto perpendicolarmente alla direzione di un campo magnetico, per valutarne l'intensità ne' suoi diversi punti; per una stessa corrente, più è grande il dislivello del mercurio nei tubi e più il campo magnetico è intenso.

Fig. [illegible]
Attrazione delle spire consecutive percorse da una stessa corrente.

La stessa regola fa pur conoscere immediatamente il senso della rotazione della ruota del motore inventato da Sturgeon nel 1823 e che porta il nome di ruota di Barlow.

Esso è rappresentato dalla figura 311: il campo magnetico è ancora prodotto da una calamita a ferro di cavallo, fra i rami *N S* della quale è scavata una piccola ciotola piena di mercurio. Una ruota di rame *R*, vuota perchè sia più leggiera, può girare intorno a un asse orizzontale, essa lambe la superficie del mercurio. La corrente penetra nel mercurio, sale lungo la ruota secondo il raggio ed esce per l'asse di rotazione.

La ruota viene allora trasportata verso la sinistra del fantoccio d'Ampère disposto sul raggio della ruota seguito dalla corrente colla faccia rivolta verso la direzione delle linee di forza del campo magnetico prodotto dalla calamita.

Faraday ha dimostrato che si poteva provedere il senso dei movimenti che si manifestano così quando correnti e calamite si trovano di fronte, basandosi su alcune altre osservazioni fornite dallo studio degli spettri magnetici e che sono le seguenti:

Le linee di forza, simili in ciò a fili elastici, tendono sempre a trascinare le correnti o le calamite in maniera che esse prendano la minore lunghezza possibile (Vedi figure 286 e 290).

Fig. [illegible]
Spostamento di una porzione *F* di un circuito libero di muoversi sul mercurio.

Nelle azioni reciproche di due campi magnetici tutto succede come se due linee di forza di senso contrario si attraessero e due linee di forza del medesimo senso si respingessero (Vedi figura 287).

Gauss d'altra parte ha formulato la regola seguente:

Un circuito tende a disporsi in un campo magnetico in maniera

di abbracciare il massimo numero di linee di forza (1) (Vedi figure 290 e 304).

Gli apparecchi così semplici che abbiamo testè descritti sono troppo delicati per essere impiegati nell'industria; furono composti unica-

Fig. 305. — Rotazione di una corrente sotto l'azione di un polo A di una calamita.

Fig. 306.
Rotazione della scarica L di un rocchetto di induzione in un campo magnetico

(1) Lippmann ha ideato un *motore elettrico* originale, nel quale non intervengono le proprietà dei campi magnetici. Consta di una vasca di vetro V (fig. 312) sul fondo della quale riposano due bicchieri di vetro v v'; in quei bicchieri sono immersi due fasci di tubi parimente di vetro *ll'* aperti ai due capi. Quei tubi hanno 2 mm di diametro e sono solidali delle aste raccomandate in *b a b* ad uno degli spigoli dei telai che si appoggiano sulle estremità della leva *L*. Si versa mercurio nei bicchieri *v' v'*, poi acqua acidulata nella vasca *R*. I tubi *l l'* contengono inferiormente mercurio e superiormente acqua acidulata. Il mercurio si solleva meno in alto nei tubi che all'esterno causa la piccolezza del diametro dei tubi stessi, ma allo stato normale, siccome la depressione è la medesima nel fascio *l* e nel fascio *l'*, le spinte subite dai due fasci sono eguali e l'apparecchio è in equilibrio. Se poi si collegano i poli di una pila ed un solo elemento Daniell basta all'uopo, ai serrafili polari *p p* e per conseguenza, grazie alle aste *A A*, ai mercurii dei vasi *v v'*, quei due mercurii si trovano portati a potenziali diversi, la depressione non è più la medesima nei due fasci di tubi ed il sistema oscilla dal lato ove essa è più debole. Quel movimento viene trasmesso alla ruota [illegible] al commutatore *R* che cangia i potenziali dei due mercurii. Nel fascio ove la depressione era più forte diventa [illegible] più debole e per conseguenza la leva *L* oscilla in senso contrario. Questa manovra si [illegible] e perdura sin tanto che la pila funziona.

Devesi notare che questa macchina può servire a produrre una corrente elettrica. Infatti, collegando i serrafili polari *p p* con un [illegible] comprendente un galvanometro, si vede che [illegible] il motore colla mano, l'ago del galvanometro è deviato, il senso di quella deviazione [illegible] quello della corrente prodotta, cambia col senso della rotazione della ruota *r*.

mente per iscopo di indagini e di istruzione. Essi consentirono di formulare le leggi che regolano gli spostamenti delle parti mobili di un assieme di calamite e di correnti elettriche situate in condizioni perfettamente cognite.

Reciprocamente, facendo appello a quelle leggi, sarà possibile di concretare la costruzione di un motore elettrico atto ad assumere un movimento prestabilito, imposto dall'applicazione particolare che ha in vista l'ingegnere. Molte furono le prove tentate allo scopo di ottenere buoni motori elettrici destinati a surrogare nella pratica le motrici a vapore più voluminose e meno pulite. La storia di quelle prove incomincia verso il 1820, all'indomani delle scoperte memorabili che servivono di base ad Ampère per fondare l'elettro-magnetismo — azioni reciproche delle calamite e delle correnti — e l'elettro-dinamica — azioni reciproche delle correnti. Le fasi di quella storia sono interessanti assai perchè mettono in evidenza le trasformazioni successive per le quali passarono i tremoli apparecchi di Ampère prima di divenire vere macchine industriali.

Fig. 307. — Rotazione elettro-magnetica di una superficie cilindrica di rame.

Descriveremo solo, alcuni motori tipi.

Certi motori elettrici, detti oscillanti, furono fondati sulle attrazioni o sulle ripulsioni esercitate da un'elettro-calamita sopra calamite, sbarre di ferro, ecc. Tali sono il motore del professore Henri (1831), il motore del Dal Negro di Padova (1833), di Page (1834), ecc.

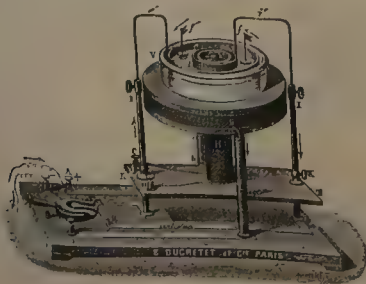



Fig. 308. — Rotazione elettro-magnetica dei liquidi conduttori.

Il più perfetto di quei motori fu costruito da Bourbouze.

Consta (fig. 313) di due paja di elettro-calamite E E, E' E' i cui nuclei di ferro dolce, situati nella parte inferiore, non riempiono che una metà del canale cilindrico aperto secondo l'asse di ciascuna elettro. In quei canali possono salire e scendere cilindri di ferro dolce solidali

al bilanciere, collegato dal canto suo ad un volante per mezzo di una biella e di una manovella.

Se la corrente anima le sole elettro $E\,E$, i cilindri di ferro corrispondenti vengono attratti e si sprofondano nelle elettro $E\,E$; gli organi del motore prendono allora la posizione indicata sulla figura. Ma se, tali essendo le condizioni della macchina, la corrente cessa dal passare nelle elettro $E\,E$ per portarsi in $E'\,E'$ sono i cilindri di ferro dolce relativi ad $E'\,E'$ che subiscono l'attrazione e da questa risulta una inclinazione del bilanciere in senso opposto. Quei movimenti alternativi dei cilindri di ferro, paragonabili in tutto e per tutto ai movimenti dello stantuffo di una macchina a vapore, sono trasformati nella medesima guisa in un movimento di rotazione dell'asse del volante.

Ma come si obbligherà il motore a condurre successivamente la corrente elettrica nelle elettro $E\,E$, $E'\,E'$?

Il polo positivo della batteria di pile che fornisce la corrente è at-

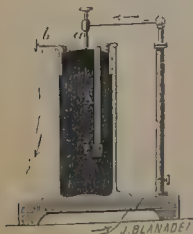



Fig. 309. — Rotazione della calamita A, zavorrata da un cilindro di platino P sotto l'azione di una corrente.

Fig. 310.
Inalzamento del mercurio sotto l'azione della spinta elettro-magnetica.

taccato al serrafilo positivo del motore. A quel morsetto serrafilo è pure raccomandata una delle estremità di ciascuno dei fili delle due paja di elettro $E\,E$, $E'\,E'$; l'altra estremità del filo delle elettro $E\,E$ è collegata al filo a, l'estremità del filo delle elettro $E'\,E'$ al filo b; d'altra parte il polo negativo n della batteria delle pile è collegato al filo o. Ora, per mezzo di un eccentrico e di una biella il volante comunica un movimento alternativo ad una lamina d'avorio sulla quale riposano i fili a, o, b. Quella lamina nella sua parte media è coperta di un foglio di metallo in perenne contatto col filo o. Quando quel foglio metallico viene a contatto col filo a, la corrente passa in $E\,E$, ma non passa in $E'\,E'$ perchè il filo b poggia sull'avorio che è una sostanza isolante. La lamina d'avorio vien essa richiamata verso destra? il filo b toccherà allora il metallo ed il filo a l'avorio, e per conseguenza la corrente passerà in $E'\,E'$ e non passerà più in $E\,E$.

Così si trova assicurato il funzionamento continuo del motore.

Verso il 1882, Page aveva già adattato il suo motore oscillante al tornio ed alla sega circolare.

D'altra parte si può evidentemente impiegare il movimento alternativo dei cilindri di ferro a regolare il giuoco di un martello-maglio, di una pompa, di un utensile qualunque, ecc.

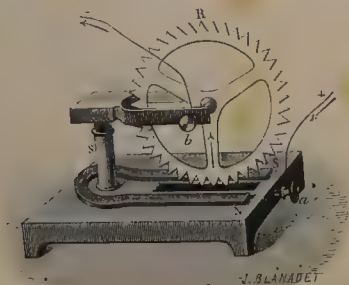



Fig. 311. — Ruota di Barlow. Rotazione elettro-magnetica.

Froment, disponendo le sbarre di ferro sulle quali si esercitano le attrazioni delle calamite in una guisa diversa, costruì un motore che dà

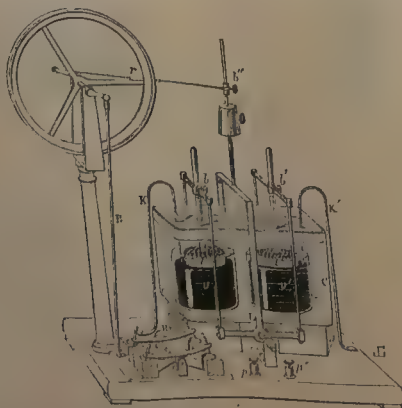



Fig. 312. — Elettro-motore capillare di Lippmann (È anch'esso un generatore di elettricità.)

immediatamente un moto rotatorio e consente quindi la soppressione degli organi di trasformazione: bilanciere, biella, eccentrico, ecc.

Il motore Froment è rappresentato dalla figura 314.

È formato da sei paja di elettro-calamite A, D, C, B, E, F, portate dal sostegno X e disposte ad eguale distanza le une dalle altre sopra una

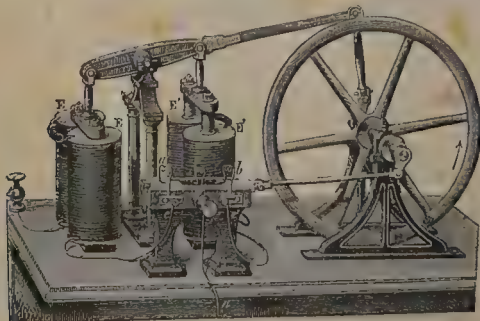



Fig. 313. — Motore a bilanciere. (Modello Bourbouze.)

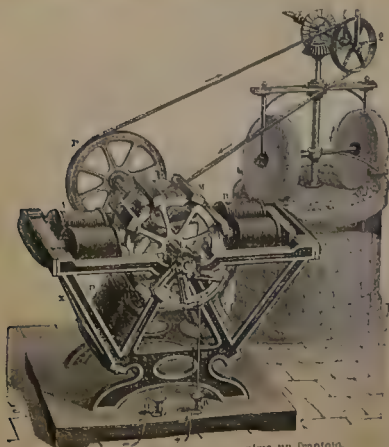



Fig. 314. — Motore Froment che anima un frantojo.

medesima circonferenza — le due elettro $E' F'$, opposte a D e C, sono state soppresse nel disegno allo scopo di renderne più visibili i partico-

lari. Un cilindro mobile intorno al suo asse è alloggiato nello spazio lasciato libero dagli elettrodi. Esso porta otto sbarre o verghe di ferro dolce *M*, disposte ad intervalli eguali sopra una stessa circonferenza. La corrente mandata da una batteria di pile entra nel motore da *R* ed esce da *H*.

Tutto è disposto perchè la corrente passi successivamente nelle due paja d'elettro-calamite che si stanno di fronte, e provochi sulle sbarre di ferro dolce più vicine a quelle elettro attrazioni concorrenti tutte ad imprimere al cilindro, e per conseguenza alla ruota *P* che ne è solidale, un movimento di rotazione sempre nel medesimo senso. Un tale risultato lo si raggiunge per mezzo di un congegno molto semplice che la figura teorica 315 mette in evidenza: le elettro sono in *A*, *B*, *C*, ecc., ed i ferri dolci in m_1 m_2 m_3, ecc. Siccome questi sono in numero di otto, gli angoli m_1 o m_2 sono più piccoli degli angoli *A o E* formati da due elettro consecutive, poichè queste sono in numero di sei soltanto sulla circonferenza. Se dunque m_1 ed m_5 vengono a trovarsi di fronte ad *A* e *B*, m_6 ed m_2 che seguono hanno ancora da percorrere un piccolo spazio prima di arrivare dinanzi alle due elettro *E* e *C*. D' altra parte la ruota metallica *o*, in comunicazione permanente col polo positivo +, è munita di otto denti che corrispondono agli otto ferri dolci *m*. Allorchè il filo *B* tocca la ruota *o* la corrente parte dal polo positivo, segue la via *o B A* e si porta al polo negativo. Appena il dente toccherà il filo *c*, la corrente seguirà la via *o c C E* ed andrà al polo negativo, i ferri dolci m_2 ed m_6 saranno allora attratti e la ruota sarà trascinata nel senso della freccia. Il medesimo giuoco continua indefinitamente e dura sinchè le pile funzionano. Nel corso di ogni giro completo si producono ventiquattro attrazioni successive. Froment ha applicato il suo motore sopratutto ai meccanismi di precisione.

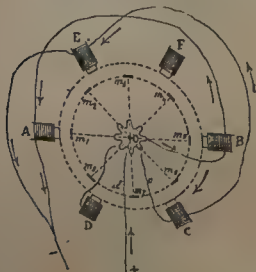



Fig. 315.
Schema del commutatore Froment.

Nel motore Jacobi (fig. 316), che data dal 1838, il movimento di rotazione risulta da attrazioni esercitate da elettro-calamite fisse sopra elettro-calamite mobili. Ecco con quali parole lo descrive Silvanus Thomson: Il motore Jacobi era costituito da due sostegni *FF* di legno su ciascuno dei quali era fissata in corona una dozzina di elettro-calamite a poli alternati. Fra quelle elettro-calamite, e sopra un disco di legno, era montata un'altra serie di elettro-calamite che l'attrazione e la ripulsione alternativa dei poli fissi obbligavano a girare. Nel momento che le elettro-calamite mobili passavano dinanzi alle elettro-calamite fisse, la corrente che percorreva le prime veniva regolarmente invertita da un commutatore, formato, secondo l'assetto adottato da Jacobi, da quattro ruote *R* di ottone i cui denti erano isolati gli uni dagli altri da pezzi d'avorio e di legno intercalati.

Nel 1839, a Pietroburgo, Jacobi, l' inventore della galvanoplastica,

riuscì, per mezzo del suo motore ad imprimere ad un navicello ad alette carico di dodici persone forza sufficiente per rimontare la Neva. La corrente elettrica, molto energica, era fornita da 128 pile Grove.

Da tutte le parti i fisici ed i meccanici si preoccuparono della locomozione coll' elettricità: nel 1842, Davidson impiantò una carrozza elettrica fra Edimburgo e Glascow, la quale correva con una velocità di sei chilometri all'ora; nel 1849, Soren Hjörth costruì a Liverpool un motore assai più poderoso.

Descriviamo alla fine il motore Pacinotti (fig. 317) che data dal 1861 e che l'autore fece conoscere nel *Nuovo Cimento* del 1864 (1).

« Presi, scrive Pacinotti, un anello di ferro tornito provveduto di sedici denti eguali; quell' anello è sostenuto da quattro bracci d'ottone *BB'* che lo collegano all'asse della macchina. Fra i denti, piccoli

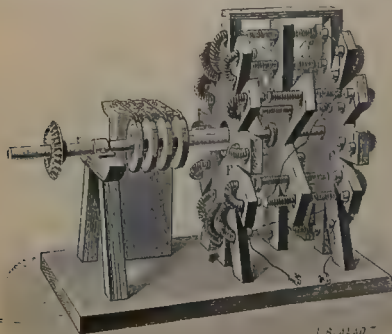



Fig. 316. — Motore Jacobi (1838).

prismi triangolari di legno formano incavi nei quali si avvolge un filo di rame rivestito di seta. Questo assetto ha per iscopo di ottenere tra i denti di ferro della ruota un isolamento perfetto delle eliche così formate. In tutti quei rocchetti il filo è avvolto nel medesimo senso e ciascuno di essi è formato di nove spire. Due rocchetti consecutivi sono separati l'uno dall'altro da un dente di ferro della ruota e dal piccolo prisma triangolare di legno. Abbandonando un rocchetto per costruire il successivo, io fermo il capo del filo di rame fissandolo al pezzo di legno che separa i due rocchetti.

« Sull'asse che porta la ruota così costrutta, ho aggruppato tutti i fili, un capo dei quali forma il fine di un rocchetto e l'altro il prin-

(1) *Descrizione di una piccola macchina elettro-magnetica del dottor* Antonio Pacinotti. (*Nuovo Cimento*, fascicolo di giugno 1864.)

cipio del rocchetto successivo facendoli passare entro fori a tal uopo praticati in un manicotto o collare di legno centrato sul medesimo asse ed attaccandoli poi al commutatore montato parimente sull' asse. Quel commutatore consiste in un piccolo cilindro di legno che porta sui margini della sua circonferenza due ordini di incavature nelle quali sono incastrati sedici pezzi di ottone, otto nelle superiori, otto nelle inferiori in ordine rispettivamente alternativo, tutti concentrici al cilindro di legno sul quale fanno una lieve sporgenza ed il cui spessore separa una fila dall'altra. Cadaun pezzo d'ottone è saldato ai due capi di filo che corrispondono a due rocchetti consecutivi, di maniera che tutti i rocchetti comunicano tra loro, essendo ciascuno di essi collegato al sucessivo mediante un conduttore del quale fa parte uno dei pezzi di ottone del commutatore. Se dunque si mettono in comunica-

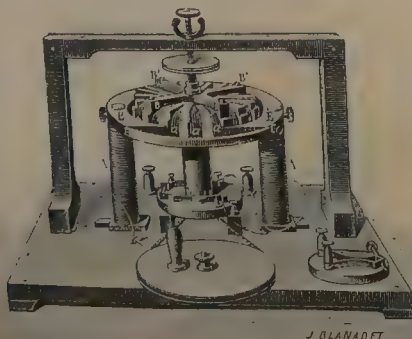



Fig. 317. — Motore Pacinotti (1861).

zione coi poli di una pila due di quei pezzi di ottone per mezzo di due girelle metalliche, la corrente dividendosi percorrerà l'elice sull'uno e sull'altro lato dei punti d'onde partono i capi dei fili attaccati ai pezzi di ottone che comunicano colle girelle, ed i poli magnetici appariranno nel ferro del circolo sul diametro perpendicolare ad AA'. Su quei poli agiscono i poli di un' elettro-calamita fissa che determinano la rotazione dell'anello, e, quando essa è in moto, i poli si riproducono sempre nelle posizioni fisse che corrispondono alle comunicazioni colla pila. »

Questo motore elettrico fu poco notato al suo primo apparire. Si stette paghi a farlo figurare nella collezione degli istrumenti della Università di Pisa. Fu solo nel 1881, dopo che era stato per così dire quasi reinventato da Gramme nel 1869, che fu apprezzato pel suo valore. La massima parte dei motori odierni si riattaccano ad esso.

Per far comprendere la grande regolarità che si può domandare ai

motori elettrici, Dumas in uno dei suoi rapporti così esprimeva a proposito del motore Froment: « Trovandoci riuniti a Londra, in occasione dell'Esposizione, Froment, nel corso di una seduta, prende il suo orologio e ci dice: È mezzodì meno dieci secondi. Per l'impulso dell'orologio a pendolo del mio studio, a Parigi, la mia macchina da dividere incomincia ad agire. Il diamante traccia cinque linee in aria per mettersi in ordine e per scaldare gli olii delle giunture e dei suoi sostegni. Esso traccia cinque linee inutili sulla piastra di vetro, per assicurarsi che morde. Progredisce sino al punto ove deve incominciare il lavoro; traccia le sue divisioni definitive, corte pei millesimi di millimetro, più lunghe di cinque in cinque, e un po' più lunghe ancora di dieci in dieci. Esso ne ha tracciate cinquecento. Ha finito il suo compito e rimane al suo posto colla punta sollevata pronto a ricominciare. Ma, a sua volta, segna sull'orologio a pendolo mezzodì e

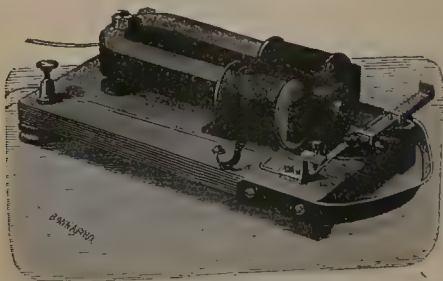



Fig. 318. — Pugno Bréguet.

trenta secondi, perchè ritornato a Parigi il padrone possa assicurarsi che il suo schiavo elettrico gli ha scrupolosamente obbedito. »

Se si può fare assegnamento sulla regolarità del funzionamento della massima parte dei motori dei quali abbiamo parlato, non si può dire altrettanto della loro forza, e da questo punto di vista son ben lontani dall'essere paragonabili alle più piccole macchine a vapore. D'altra parte, quand'anche avessero la forza, ragioni di economia farebbero sempre preferire pei lavori comuni le motrici a vapore. Lo zinco che fa d'uopo bruciare, corrodere nelle pile per ottenere la corrente elettrica indispensabile, ha un prezzo assai più elevato del carbon fossile, e, a peso eguale, il carbon fossile fornisce circa dieci volte più energia dello zinco.

I progressi della meccanica elettrica erano dunque legati alla risoluzione dei due problemi seguenti:

Come si può ottenere economicamente una corrente elettrica?

Come si può accrescere la forza dei motori?

Per molto tempo l'opera magistrale di Ampère inspirò sola le ricerche; ma poi si associarono altre indagini fatte parallelamente alle prime e

basate sulle leggi dei fenomeni di induzione delle quali la scienza va sopratutto debitrice al genio profondo di Faraday, ed i quesiti proposti ebbero la desiderata risposta.

Esaminiamo i più notevoli fra quei fenomeni di induzione dei quali conosciamo già l'andatura generale. In fatti ne abbiamo già incontrati due casi in telefonia:

1.° Una corrente elettrica appare in un circuito immerso nel campo magnetico di una calamita, quando si modificano le linee di forza di quel campo in una maniera qualunque, per esempio facendo movere fra esse un pezzo di ferro dolce; battendo sul bottone del *pugno* di Bréguet (fig. 318), l'armatura della calamita è strappata ed una scintilla di induzione scocca fra le estremità vicine del filo dell'elettro.

2.° Una corrente elettrica è indotta in un circuito del quale almeno una parte è immersa nel campo magnetico prodotto da una corrente elettrica, allorchè si modifica quel campo aumentando o diminuendo

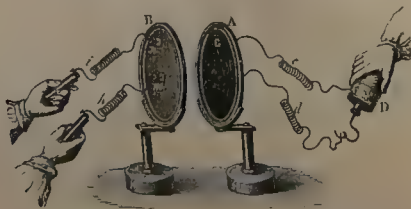



Fig. 319. — Induzione di una corrente nel circuito B dovuta alla scarica di una bottiglia di Leida D nel circuito c.

l'intensità della corrente. Questo è il principio del rocchetto di induzione che abbiamo già studiato.

Scaricando una bottiglia di Leida in un circuito (fig. 319), una corrente indotta nasce egualmente nel circuito vicino e quando si tengono in mano le estremità del circuito si riceve una scossa.

Trattando della telefonia noi abbiamo già spiegato da quali circostanze dipenda l'intensità di una corrente indotta.

Aggiungiamo che se si spostano gli uni per rapporto agli altri circuiti vicini, uno almeno dei quali sia attraversato da una corrente elettrica, vi ha reazione dei circuiti gli uni sugli altri *(induzione mutua)*, ed infatti i galvanometri mostrano che tutte le correnti variano. Se primitivamente la corrente era nulla in certi circuiti, se ne produce una che dura quanto dura lo spostamento e la cui intensità dipende dalla intensità delle correnti che preesistevano e dalle qualità meccaniche dello spostamento: velocità, trajettoria, ecc.

Questi fatti si ponno agevolmente verificare per mezzo dell' apparecchio rappresentato dalla figura 320: il rocchetto B' è attraversato dalla corrente di una pila; nel rocchetto B non circola corrente di sorta. Se ora si introduce il rocchetto B' nel rocchetto B, il galvanometro C indica la produzione di una corrente in B, che cessa appena

il rocchetto B' è in riposo. Allontanando B', ecco apparire di nuovo una corrente, ma di senso contrario alla prima.

All'atto dell'avvicinamento le cose succedono come se il rocchetto B' collocato stabilmente nel rocchetto B aumentasse l'intensità della corrente che circola in esso, come se si lanciasse una corrente in B; e all'atto dell' allontanamento, come se si diminuisse, si sopprimesse quella corrente.

È inutile dedicare uno studio speciale ai varii casi di induzione, poichè tutti obbediscono alle medesime leggi. Si può compendiarli nell'enunciato seguente:

Se, per una causa qualunque, le linee di forza di un campo magnetico ed una porzione di un circuito assumono un movimento relativo, un certo numero di linee di forza sono in quel movimento incontrate, tagliate dal filo f. *Quel numero di linee di forza tagliate, quel flusso tagliato, tende a far circolare nel filo una corrente che si oppone al movimento relativo delle linee di forza e del filo, corrente che cessa nel tempo stesso che cessa il movimento, e che è tanto più intensa quanto maggiore è il numero delle linee di forza tagliate in un tempo più breve* (Vedi fig. 291 e 322).

Fig. 320. — Corrente indotta nel circuito B dallo spostamento di un circuito B' percorso da una corrente (corrente induttrice).

Fu l'esperienza che condusse Faraday ed il fisico russo Lenz a formulare questa legge notevole. Lenz notò per il primo, nel 1834, *che la corrente indotta tende sempre a fare ostacolo, a resistere allo spostamento che la fa nascere.*

Dimostriamo con alcuni esempii lo spirito di questa legge e la maniera di applicarla.

Se due circuiti presentano porzioni parallele, e uno dei due sia attraversato da una corrente, l'allontanamento del secondo circuito vi farà nascere una corrente del medesimo senso del primo, poichè due correnti parallele e del medesimo senso si attirano, vale a dire tendono

ad impacciare il movimento di allontanamento impresso al circuito. Per l'avvicinamento, e per la medesima ragione, la corrente indotta sarebbe di senso contrario alla corrente induttrice.

Abbiansi ora due rotaje sulle quali si sposta un convoglio da oriente ad occidente, essendo il campo magnetico diretto dall' alto in basso; quale sarà il senso della corrente indotta nell'asse che chiude il circuito formato dalle rotaje? Consideriamo l'asse che va dall'est all'ovest

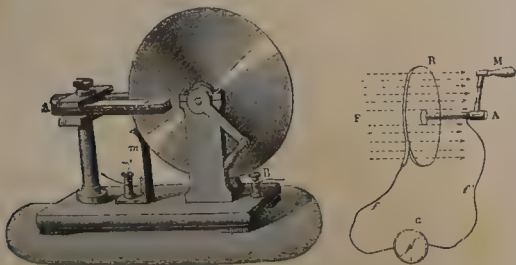



Fig. 321. - Induzione di una corrente in un circuito attaccato per le sue estremità sul lembo o sull'asse di una ruota metallica che taglia le linee di forza di un campo magnetico prodotto dalla calamita A.

e adagiamo sovr' esso un osservatore che guardi nella direzione del campo e che abbia il braccio sinistro diretto nel senso dello spostamento. Se la corrente indotta gli entrasse pei piedi (regola della pagina 382) essa favorirebbe lo spostamento; ora deve invece essergli di impedimento, dunque la corrente penetra per la testa del fantoccio. Se lo spostamento avesse luogo da ovest ad est, l'indotto circolerebbe in senso contrario.

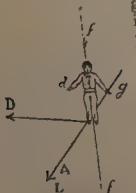



Fig. 322. Senso delle correnti indotte

Il senso della corrente indotta che tende a prodursi nel filo f (fig. 321) *è diretto dai piedi alla testa di un fantoccio adagiato sul filo in guisa che guardi nella direzione delle linee di forza* L *e che abbia la sua destra dalla parte dello spostamento* D.

Se si gira il disco metallico (fig. 321) nel senso naturale nel circuito esterno circolerà una corrente indotta da B' verso B. Una rotazione inversa determinerebbe una corrente in senso opposto.

Si sono date altre regole che talvolta possono essere sostituite con vantaggio alla precedente. Ecco la regola del cavatappi di Maxwell.

« **Dato un circuito, se vi si pone di facciata** un cavatappi e lo si fa ruotare in guisa che avanzi nel senso delle linee di forza, il senso della rotazione del cavatappi indica il senso di circolazione della corrente se la modificazione del campo magnetico che ha prodotto l'induzione diminuisce il flusso di forza che attraversa il circuito; se invece

quella modificazione aumenta il flusso di forza la corrente, circola in senso contrario alla rotazione del cavatappi. »

Citiamo anche la regola delle tre dita del dottor Flaming (fig. 323).

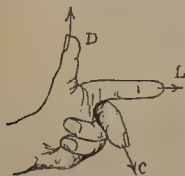



Fig. 323.
Regola delle tre dita.

Fig. 324. — Trascinamento di un ago magnetico *a b* per effetto della rotazione di un disco di rame.

« Avendo disposto il pollice della mano destra nel senso dello spostamento *D* e l'indice nel senso delle linee di forza *L*, il medio non può disporsi parallelamente al filo che in una sola maniera; la corrente circola allora nel filo in guisa da andare dall'origine del medio verso la sua estremità *C*. »

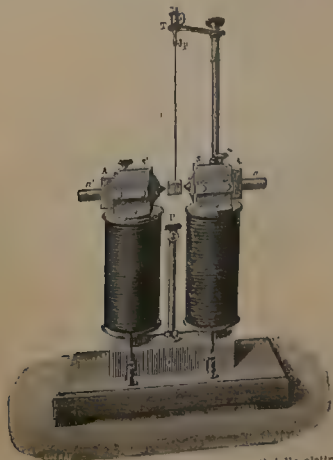



Fig. 325. — Cubo in rotazione arrestato dalle correnti delle elettro *E E'* che agiscono a distanza come veri freni.

Questa regola ha un'applicazione generale e molto rapida. Il lettore

in questa maniera scoprirà senza fatica la direzione delle correnti indotte da un dato spostamento dei circuiti (Vedi fig. 292 e 296).

Se in luogo di un filo si ha una massa conduttrice, un pezzo di metallo qualunque, che si trova in un campo magnetico e si manifesta un movimento, che cosa avviene?

Nel 1824, Gambey notò che un ago calamitato oscillava meno a lungo, faceva deviazioni successive da una parte e dall'altra della sua posizione di equilibrio più piccole, allorchè sotto all'ago si trovava un disco di rame. La presenza del disco attenua le oscillazioni.

Arago, per spiegare il fatto, suppose l'esistenza di un *magnetismo di rotazione*. Egli notò, facendo girare il disco di rame, che l'ago calamitato veniva trascinato nel senso della rotazione del disco, che l'ago stesso girava appena il disco raggiungeva una velocità sufficiente quantunque non ci fosse traccia di ferro in alcuna parte dell'apparecchio (fig. 324).

Faraday, che più tardi ripetè l'esperimento di Arago, lo spiegò colla produzione di correnti indotte nel disco. Quelle correnti sono dirette perpendicolarmente alle linee di forza che varcano il disco. Si può metterle in evidenza appoggiando le due estremità del filo di un galvanometro su due punti del disco. I fatti osservati da Arago sono conformi alle leggi di Lenz.

Sezionando il disco secondo un certo numero di raggi, l'effetto del disco rimane annullato o per lo meno notevolmente indebolito.

Se si lascia cadere una moneta fra i poli allargati di una calamita, si nota che la moneta attraversa con lentezza il campo magnetico. Se si sospende un cubo metallico per un filo in guisa che si trovi tra i poli di un'elettro-calamita (fig. 325) poi si torce il filo di sospensione e quindi si abbandona il sistema a sè medesimo, si vede il cubo assumere un rapido movimento di rotazione. Lo si arresta di botto lanciando la corrente nell'elettro-calamita. Sopprimendo la corrente, la resistenza scompare ed il cubo si mette nuovamente a girare. Questi fatti si spiegano coll'induzione di correnti in seno alle masse metalliche in movimento in un campo magnetico.

Sono correnti indotte di questa specie quelle che permettono di funzionare ad un telefono a disco di rame, d'alluminio, ecc.

Foucault diede una forma ancora più spiccata all'esperienza di Arago. Un disco *A* vien messo in rotazione per mezzo di una manovella *M* e di ingranaggi, fra i pezzi polari *NN* ed *SS'* di un'elettro-calamita *D* (fig. 326). Se nell'elettro-calamita non passa corrente di sorta un debole sforzo basta per mettere il disco in movimento; se per converso la corrente passa, ci vuole un lavoro meccanico notevole per ottenere la rotazione del disco. Nel tempo stesso questo si scalda assai. Formando il nucleo del disco con una lega molto fusibile, Tyndall potè con questo mezzo fondere la lega.

Si può ripetere il medesimo esperimento per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 327, nel quale il disco *D* riceve il suo movimento da un peso *P* che cade.

Edison stabilì su questo esperimento un freno elettrico: il disco è messo in rotazione dalla carrozza medesima; per fermarla il conduttore non ha da far altro che lanciare la corrente nell'elettro fra i poli della quale gira il disco.

Ecco con quali parole Foucault fece conoscere le sue osservazioni: « Quando il disco è lanciato a tutta velocità, la corrente di sei coppie Bunsen, diretta nella elettro-calamita estingue il movimento in pochi secondi come se al mobile fosse applicato un freno invisibile; è l'esperimento di Arago sviluppato da Faraday. Ma se allora si gira la manovella per restituire all'apparecchio il movimento che ha perduto, la resistenza che si prova obbliga ad impiegare un certo lavoro il cui equivalente ricompare e si accumula effettivamente in calore nell'interno del corpo girante.

« Per mezzo di un termometro che pesca nella massa, si segue passo per passo l'elevazione progressiva della temperatura. Avendo preso per

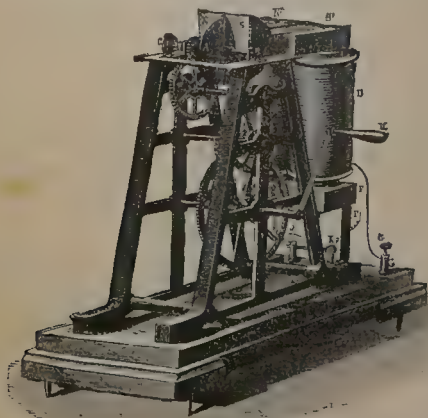



Fig. 326. — Correnti indotte in masse metalliche. (Correnti di Foucault.)

esempio l'apparecchio alla temperatura di 16 gradi centigradi, ho veduto il termometro salire successivamente a 20, 25, 30 e 34 gradi; ma il fenomeno era già sviluppato abbastanza per non reclamare più la presenza di istrumenti termometrici, poichè il calore prodotto era divenuto sensibile alla mano.

« Alcuni giorni dopo, avendo ridotto la pila a due coppie sole, un disco piatto di rame si elevò in due minuti d'azione alla temperatura di 60 gradi.

« Se l'esperienza sembra degna di interesse, sarà facile assestare un apparecchio per riprodurre, esagerandolo, il fenomeno da me indicato. Non v'ha ombra di dubbio che avendo una macchina opportunamente costrutta e composta di sole calamite permanenti, si riuscirebbe a produrre così temperature elevate, ed a mettere sotto gli occhi del pub-

blico riunito negli anfiteatri, un singolare esempio della conversione del lavoro in calore. »

Le correnti delle quali tenemmo parola vengono spesso chiamate *correnti di Foucault.*

Da tutti questi fatti è agevole desumere il piano di costruzione di una macchina destinata a fornire correnti elettriche per induzione. Essa dovrà contenere un organo produttore di un campo magnetico che si chiama *induttore*, un altro destinato a portare il filo nel quale deve circolare la corrente elettrica che si chiama l'*indotto*, e talvolta anche l'*armatura della macchina*. Finalmente la corrente è raccolta sul *collettore* la cui forma dipende dallo scopo che si vuole raggiungere.

Ma non è tutto: converrà munire l'apparecchio degli organi necessarii allo spostamento relativo dell'induttore e dell'indotto, ed è generalmente l'indotto che è mobile ed il movimento che riceve è un mo-

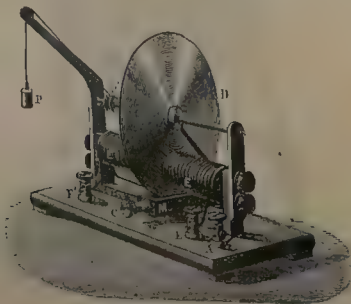



Fig. 327. — Correnti indotte nel disco *D*.

vimento di rotazione. L'impianto dei pezzi dovrà essere inspirato dalla regola formulata (pag. 390): e siccome la corrente prodotta è tanto più forte quanto maggiore è il numero delle linee di forza intersecate dal filo nello stesso tempo, *si usufruiranno campi magnetici intensi nel sito ove è collocato il filo, e si impartirà all'indotto un rapido movimento di rotazione in guisa che il filo tagli il più perpendicolarmente possibile le linee di forza.*

Nei primordii l'induttore delle macchine di induzione era costituito da una o più calamite permanenti. Per questo motivo, quelle macchine ricevettero il nome di macchine *magneto-elettriche*. La forma a ferro di cavallo (fig. 328) fu immediatamente adottata poichè conducendo essa il campo dei due poli nella regione ov'è posto l'indotto, permette di usufruirli tutti e due. La prima magneto non fu mai esposta al pubblico. Essa è stata descritta dal suo autore, rimasto ignoto, in una memoria indirizzata a Faraday il 26 luglio 1832 e firmata colle sole iniziali *M. P.* Quella macchina era destinata a decomporre l'acqua; constava di sei calamite a ferro di cavallo disposte secondo sei raggi

equidistanti di un disco di legno; i poli situati sopra una medesima circonferenza erano alternativamente positivi e negativi. Quel disco girava in un piano verticale dinanzi a sei armature di ferro dolce rivestite di filo isolato avvolto alternativamente in un senso o nell'altro, in guisa da ottenere nel circuito esterno una corrente sempre del medesimo senso.

La macchina di Pixii, presentata all'Accademia delle Scienze il 3 settembre 1832, è la prima magneto che funzionò in pubblico. Essa è rappresentata dalla figura 329. La calamita induttrice $a\ b$ gira intorno all'asse verticale c' sotto l'azione di un ingranaggio a manovella la corrente indotta nei rocchetti fissi B, B' è condotta pei fili $E\ E'$ nel circuito esterno.

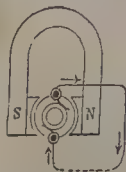



Fig. 328. — Schema di una macchina magneto-elettrica.

Il 20 marzo 1833, Ritchie presentò anch'esso una macchina magneto alla Società reale di Londra; in questa macchina quattro rocchetti giravano in un piano verticale fra i rami di una calamita a ferro di cavallo.

Nel giugno 1833, in occasione del *meeting* dell'Associazione Britannica tenutosi a Cambridge, Saxton fece conoscere una macchina magneto che rimase lungamente esposta a Londra ed alla quale nessuno badò più che di sfuggita. Essa fu rimessa in onore da Clarke che

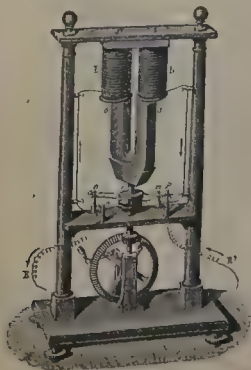



Fig. 329. — Macchina magneto di Pixii (1832).

ne costruì una molto simile (fig. 330) e che descrisse nel 1836 nel *Philosophical Magazine.*

Una calamita $A\ B\ C$ è attaccata ad un'assicella verticale, il filo dell'indotto si avvolge successivamente su due rocchetti muniti di nuclei di ferro dolce riuniti da una piastra $D\ E$ dello stesso metallo. Quei rocchetti solidali dell'asse $m\ n$ assumono un rapido movimento di rotazione loro

impresso da un ingranaggio e da una manovella $G\ T$, e lo eseguiscono dinanzi ai poli della calamita. Le estremità del filo indotto sono in relazione con due foglie metalliche $m\ n$, isolate l'una dall'altra e che coprono le due metà opposte del cilindro che forma l'asse 13. Il loro piano di separazione contiene gli assi dei rocchetti. Siccome i rocchetti si avvicinano e si allontanano successivamente ai poli A e C della calamita, la corrente che induce il movimento cambia di senso ad ogni mezza rivoluzione; oltre ciò sarebbe ad ogni istante contraria nei due rocchetti se non si usasse la precauzione di avvolgere su di essi il filo in senso opposto; esso è avvolto da sinistra a destra su di un rocchetto e da destra a sinistra sull'altro. Siccome poi ad ogni mezza rivoluzione le molle che conducono la corrente nel circuito esterno cambiano le superficie m ed n colle quali comunicano, la corrente circola sempre nel circuito esterno secondo la medesima direzione. Questo commuta-

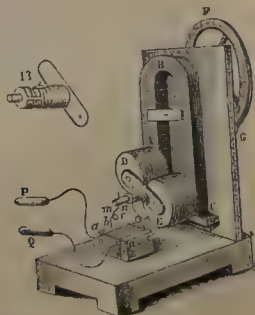



Fig. 530 — Macchina magneto-elettrica di Clarke.

tore o raddrizzatore della corrente fu introdotto nella macchina di Clarke da Dove nel 1842. Prima di ciò quella macchina serviva unicamente a produrre scosse, il riscaldamento di un filo, ecc., casi nei quali non è necessario impiegare una corrente di senso costante. Ove si tratti di decomporre l'acqua, il raddrizzamento diventa indispensabile. Un commutatore analogo è figurato nella macchina Pixii in $c\ c'\ o\ m\ n\ p$.

Stohrer costruì una macchina appartenente ai tipi precedenti e che si trova descritta negli *Annali* di Poggendorff del 1844. Sei rocchetti disposti secondo un esagono orizzontale girano dinanzi ai poli alternati di tre calamite verticali egualmente disposte sopra un esagono parallelo al primo.

Alcuni anni più tardi, nel 1849, Nollet (1) delineò il piano di una magneto destinata all'industria. Rapito dalla morte ai suoi studii, non

(1) Nollet, professore di fisica alla Scuola militare di Bruxelles, era un discendente della famiglia del celebre abate Nollet.

potè tradurre in fatto la macchina progettata, e fu un suo collaboratore, l'operajo Van Malderen, che la costruì. Essa fu usufruita dalla società l'*Alliance* per l'illuminazione elettrica del faro della Hève presso l'Havre nel 1863.

Ecco la descrizione che ne danno Jamin e Bouty:

« Sopra un telajo di ghisa sonvi traverse di legno che sostengono otto serie di sette fasci di calamite a ferro di cavallo (fig. 331); quelle calamite fisse, ognuna delle quali può portare un peso di circa 70 chilogrammi, sono distribuite in maniera che sieno sempre i poli di nome contrario quelli che si stanno di fronte. Un albero orizzontale porta sei dischi di bronzo guarniti cadauno di sedici rocchetti che sono distribuiti sulla circonferenza, come si vede sulla figura. Quei rocchett

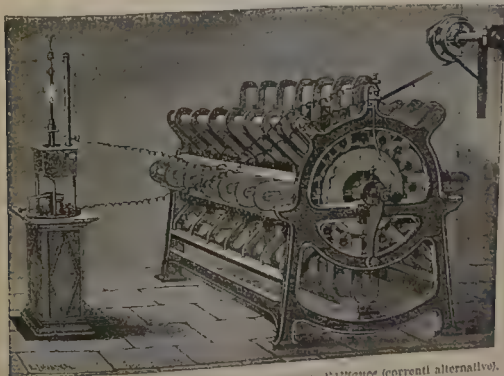



Fig. 331. — Macchina magneto-elettrica della società l'*Alliance* (correnti alternative).

sono a dodici fili di 10 metri cadauno, di maniera che la lunghezza totale del filo avvolto sui sessantaquattro rocchetti raggiunge nientemeno che la estensione di 8 chilometri. I dischi di rame che terminano i rocchetti sono tagliati nel senso del raggio, lo che impedisce la produzione di correnti indotte nei dischi stessi. Tutti i fili sono avvolti nel medesimo senso, ed i rocchetti comunicano fra di loro per mezzo di lamine di rame inchiodate su assicelle di legno che sono applicate sulle faccie dei dischi. I rocchetti sono perciò disposti in seguito gli uni agli altri e le correnti sviluppate in ciascuno di essi si sommano: si dice che i rocchetti sono accoppiati in serie. Si può quindi disporre le cose in guisa che i poli del medesimo nome dei varii rocchetti comunichino con uno stesso anello metallico, i rocchetti agiscono allora come altrettanti elementi di pile riuniti in quantità od in superficie.

« Per mettere in movimento il sistema dei rocchetti si impiega ordinariamente una macchina a vapore all'albero della quale è collegato l'albero della macchina Nollet per mezzo di una cigna perpetua. »

La macchina del de Meritens venne in seguito a sostituirsi a quella di Nollet, cui somiglia moltissimo. Essa differisce lievemente nell'indotto che è formato da una ruota a liste di bronzo il cui cerchio porta rocchetti piatti combacianti, i quali poi vengono trascinati in un senso perpendicolare a quello del loro avvolgimento dinanzi ai poli di quaranta calamite ad otto lamine distribuite per file di cinque in otto fasci raggianti.

Quelle macchine magneto-elettriche sono a *correnti alternative*, poichè forniscono nel circuito esterno correnti che cambiano periodicamente di senso. Infatti non è necessario, ed anzi è nocivo quando si tratta di illuminazione elettrica il raddrizzare quelle correnti applicando alla macchina un opportuno collettore.

Fig. 332. — Rocchetto Siemens. (Indotto a foggia di spola.)

Codesta operazione implica necessariamente e sempre una perdita di energia sotto forma di scintille. D'altra parte i carboni delle lampade ad arco vengono tutti e due consumati egualmente dalle correnti alternative.

Nella maggior parte delle macchine sopracitate, il campo magnetico è male usufruito, i rocchetti lasciano sussistere fra essi spazii vuoti, ecc. Siemens soppresse in gran parte quelle imperfezioni inventando l'indotto cilindrico a foggia di spola, o, come dicesi anche, a doppio T, che porta il suo nome (fig. 332). La figura fa vedere come il filo sia avvolto longitudinalmente, nel senso della lunghezza del cilindro. Siemens nella sua prima macchina collocò quell'indotto fra i bracci di un sistema induttore formato da ventotto calamite a ferro di cavallo sovrapposte in guisa che i poli del medesimo nome si trovino sopra una medesima linea. Si capisce che così non c'è più spazio perduto come nelle macchine precedenti a rocchetti non continui.

Fig. 333. — Rocchetto Siemens formato da una sola spira.

Se l'indotto portasse una sola spira mobile in un campo uniforme intorno ad un asse perpendicolare alla direzione del campo (fig. 333) è agevole il vedere, applicando, per esempio, la regola delle tre dita, che le correnti che tendono a nascere nei fili f ed f', hanno ad ogni istante direzioni opposte, e che quelle direzioni si scambiano nel momento in cui il piano della spira prende la posizione perpendicolare al campo.

Ora, come si potrà avere in questo caso nel circuito esterno una corrente di senso invariabile?

L'asse di rotazione porta per tale intento due semicilindri metallici collegati rispettivamente ai fili f' ed f ed isolati l'uno dall'altro. Certe molle metalliche chiamate *spazzole* o *scopette* ed alle quali sono attaccate le estremità del circuito esterno appoggiansi nel caso della figura, quella in alto sul semicilindro collegato ad f, quella in basso sul semicilindro collegato ad f'. Nel momento preciso in cui le correnti indotte cambiano di senso in f ed f', le spazzole cambiano i semicilindri sui quali si appoggiano, il che mantiene invariabile il senso della corrente nel circuito esterno.

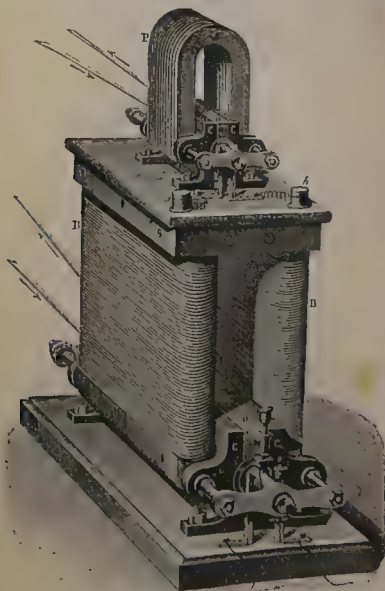



Fig. 331. — Macchina dinamo di Wilde eccitata da una magneto indipendente P.

L'operazione, che consiste nel collocare le spazzole di una macchina sul collettore in guisa che la corrente esterna conservi sempre il medesimo senso, dicesi *imbiettatura* delle spazzole. Sopprimendo il commutatore la macchina darebbe correnti alternative.

Tutti i costruttori dopo d'allora fecero uso dell'indotto Siemens. Nella medesima epoca Sinsteden e Soren Hjorth pensarono di sostituire ai

circuiti induttori, molto costosi e di calamitazione fissa, elettro-calamite eccitate dalla corrente di una batteria di pile o da quella di una macchina magneto-elettrica. La macchina magneto-elettrica diventava perciò una macchina dinamo-elettrica.

Nel 1864, Wilde costruì una dinamo conforme alle idee suespresse. Due elettro calamite verticali *B B* sono *eccitate* dalla corrente di una piccola macchina magneto *P* (fig. 334). Le armature *C C* delle elettro lasciano tra esse una cavità cilindrica nella quale gira un indotto Siemens. Il movimento viene comunicato alla macchina da cigne dipendenti dagli alberi della macchina e del motore. La macchina Wilde ebbe un successo clamoroso all'Esposizione di Parigi nel 1867: il roc-

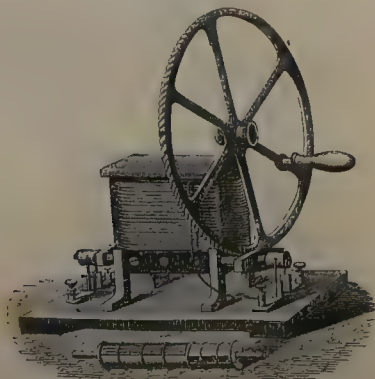



Fig. 335. — Macchina di Ladd, inescata dal magnetismo residuo ed eccitata da un rocchetto Siemens

chetto della piccola magneto faceva 2400 giri al minuto e l'indotto della dinamo 1500.

A lato della macchina di Wilde, Ladd espose una macchina analoga che presentava due particolarità. L'indotto era formato con due rocchetti Siemens collocati sul prolungamento l'uno dell'altro (fig. 335); il rocchetto a sinistra forniva la corrente inviata nel circuito esterno, quello di destra mandava invece una corrente nel filo dell'elettro in maniera da produrre la magnetizzazione.

Ma come mai poteva funzionare una macchina simile che non conteneva nè calamite nè correnti? Essa funzionava grazie al magnetismo naturale del fodero di ferro situato nel campo magnetico terrestre o che le azioni meccaniche rendono più marcato. Del resto, lanciando una prima volta una corrente esterna nell'elettro, essa conserva sempre un magnetismo residuo che basta per l'inescamento della macchina. La corrente, da prima molto debole, cresce progressivamente e raggiunge

ben presto il suo regime normale. I modelli Wilde e Ladd sono dinamo ad eccitazione indipendente.

Vediamo un po': il rocchetto ausiliario non lo si potrebbe sopprimere ed evitare codesta eccitazione per circuito separato (fig. 336), impiegando a quest'uopo la corrente stessa che si manda nel circuito esterno? Questa idea fu messa innanzi una prima volta da Soren Hjorth nel 1855, come ne fa fede un brevetto che egli prese in quell'epoca, ma l'idea passò inosservata, e solo nel 1866 fu simultaneamente fatta rivivere da Varley, Werner Siemens e C. Weatstone. La macchina dinamo si trovò allora definitivamente costituita.

L'eccitazione per mezzo della corrente indotta può essere fatta in diversi modi.

Se la corrente è mandata nella sua totalità nell'elettro, l'eccitazione dicesi fatta in serie (fig. 337).

Se solo una parte di corrente circola nel filo dell'elettro, l'eccitazione dicesi fatta in derivazione (fig. 338). Questi due modi di ecci-

Fig. 336. Dinamo ad eccitazione indipendente.

Fig. 337. Dinamo eccitata in serie.

Fig. 338. Eccitazione in derivazione.

Fig. 339. Eccitazione composta.

tazione si possono pur combinare tra essi con vantaggio (fig. 339); la scelta dipende dal risultato che si ha di mira.

Dopo il 1867 i progressi si riflettono unicamente sulla forma e sulla costruzione dell'indotto.

Nel 1869 apparve l'indotto ad anello dovuto a Gramme, ed anche qui il caso fece l'opera sua.

Gramme (1), dovendo modellare una macchina dell'*Alliance* ideò una

---

(1) Zenobio Gramme, nato il 4 aprile 1826 a Jehay-Bodegnee (provincia di Liegi), aveva 34 anni quando venne a Parigi ed entrò in qualità di falegname modellatore nelle officine della società l'*Alliance* che costruiva le macchine magneto-elettriche di Nollet, destinate all'illuminazione dei fari. I misteriosi fenomeni dell'induzione, dei quali quelle macchine erano un'applicazione, lo impressionarono assai. Studiò di spiegarseli, ma non avendo istruzione alcuna dovette, come Pascal che reinventò la geometria, comporre per proprio uso una teoria dell'elettricità. Nel corso delle sue meditazioni, ebbe occasione di aprire un trattato di fisica e ciò fu per lui una rivelazione. Dopo parecchi anni di lavoro, dopo essere stato nell'officina di Ruhmkorff, dopo di aver perfezionato le macchine dell'*Alliance*, inventò, nel 1869, l'anello detto *anello di Gramme*, e nel 1872 costruì la prima dinamo industriale, chiave delle grandi applicazioni industriali dell'elettricità. Gli onori e le ricompense seguirono da vicino il successo commerciale. Gramme ricevette successivamente un gran premio dalla Società di Incoraggiamento, un gran premio alle Esposizioni 1878, 1881, una ricompensa di ventimila franchi dal Governo francese, poi il celebre premio Volta di cinquantamila franchi. Già cavaliere della Legion d'onore, fu nominato ufficiale nel mese di febbraio 1889 (*).

(*) Il noto autore delle *Causeries scientifiques* Enrico Parville, nel suo bellissimo lavoro l'*Electricité et ses applications* (Parigi 1889) così si esprime:

« Sarebbe ingiustizia non ricordare che fino dal 1860 uno studente italiano, oggi professore di

teoria delle correnti indotte. Dopo molti mesi di lavoro egli pervenne a costruire una macchina di induzione il cui organo nuovo ed originale era quell'indotto annullare che dipoi occupò un posto sì notevole nella costruzione delle macchine dinamo.

L'indotto Gramme consta (fig. 340 e 342) di un filo di rame avvolto sopra rocchetti successivi identici ed in numero pari b, b, ecc., sopra un anello formato di fili di ferro verniciati. Questo assetto ha sopra un anello ordinario il vantaggio di sopprimere in gran parte i perniciosi effetti delle correnti di Foucault. Ogni porzione del filo c, che va da un rocchetto al successivo, è fissata al lato di una squadra di rame disposta secondo il raggio il cui altro lato T è perpendicolare al piano dell'anello. L'assieme delle squadre forma un cilindro chiamato *collettore*.

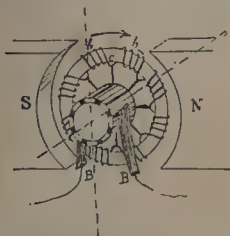



Fig 340 — Schema dell'indotto Gramme Angolo di imbiettamento delle spazzole BB'

Il filo indotto, dice Clemenceau nel suo libro sulle macchine dinamo-elettriche, « è ordinariamente isolato da due strati di cotone avvolti in senso opposto, o da uno strato di cotone e da uno di seta. In quanto sia alle lamine del collettore, esse son separate mediante foglie di amianto, di cartone o di qualsiasi altra materia isolante. Infine per consolidare il tutto ed impedire ai fili di separarsi gli uni dagli altri durante la rotazione, l'anello è fortemente cerchiato esternamente da fili di ferro od anche da funicella incatramata. L'anello così costituito è assicurato sull'albero della macchina per mezzo di biette di legno fortemente compresse ed il collettore è consolidato sull'asse da uno o due cerchietti di bronzo contornati da un isolante. Oggidì l'anello di Gramme è un po' modificato. L'anello propriamente detto è identico, ma il collettore fu reso indipendente. Ora questo è formato da un manicotto isolante inchiavardato sull'albero e nel quale sono incastrate tutte le lamine collettrici separate da fogli di cartone. »

Fig 341 — Corona di pile ciascuna delle quali funziona nella maniera stessa che funzionano i rocchetti dell'anello Gramme

Ove quell'indotto sia messo in rotazione fra i pezzi polari di un induttore, come è rappresentato dalla figura 296, applicando una delle tre regole che abbiamo insegnate, è age-

fisica all'Università di Cagliari, il dottore Pacinotti, aveva concepito il medesimo assetto di cose e ne aveva pubblicato la descrizione nel *Nuovo Cimento*. Il signor Pacinotti aveva esposto nella sezione italiana (Esposizione 1881) il modello della sua macchina che egli considerava come un motore elettrico e non come un generatore di elettricità, ma non pare che il fisico italiano abbia compreso l'importanza della sua invenzione applicata alla generazione delle correnti. »

La priorità dell'invenzione dell'indotto ad anello è quindi un vanto italiano il cui valore non resta menomato dall'osservazione sopra riportata.

Nota del Trad.

vole riconoscere che le spire dei rocchetti posti sulla destra del diametro verticale tendono ad essere percorsi da correnti il cui senso è figurato dalle freccie 1 e 4, e che le spire di sinistra sono percorse da correnti di senso contrario come lo indicano le freccie 2 e 3. Di più, l'induzione dei singoli rocchetti scema a misura che si avvicinano alla verticale.

Fig. 342 — Modificazione delle linee di forza del campo magnetico della macchina Gramme quando l'anello è in rotazione

Disponendo le due spazzole che conducono la corrente all'esterno in guisa che esse premano costantemente sui due tasti di rame del collettore che passano nella verticale, le due correnti opposte verranno a versarsi nel medesimo senso nel circuito esterno.

I rocchetti di destra e di sinistra agiscono come due sistemi di pile disposte in serie (fig. 341) e delle quali siano riuniti i poli positivi e negativi comuni alle due serie con un filo conduttore, mentre la forza elettro-motrice delle pile va diminuendo dal mezzo di ogni serie verso le estremità.

Fig. 343. — Macchina magneto elettrica Gramme

Come si vede, la teoria del funzionamento dell'anello Gramme è delle più semplici.

Il suo movimento dà luogo nel circuito esterno ad una corrente continua, vale a dire di senso invariabile. L'intensità della corrente su-

bisce variazioni ogni volta che un nuovo tasto passa per la verticale, poichè allora vi è un momento nel quale le spazzole appoggiansi su due tasti consecutivi e per conseguenza sopprimono dal circuito i rocchetti corrispondenti che si chiudono sopra sè stessi. Va da sè che la variazione di intensità che risulta da codesta soppressione è tanto più debole quanto meno spire comprendono i rocchetti, od anche quanto maggiore è il numero di essi sull'anello.

Le macchine dinamo non dànno dunque correnti di una intensità rigorosamente costante.

Accompagnando col pensiero la corrente che circola nelle due metà del filo indotto, si vede che esso calamita l'anello in guisa da crearvi

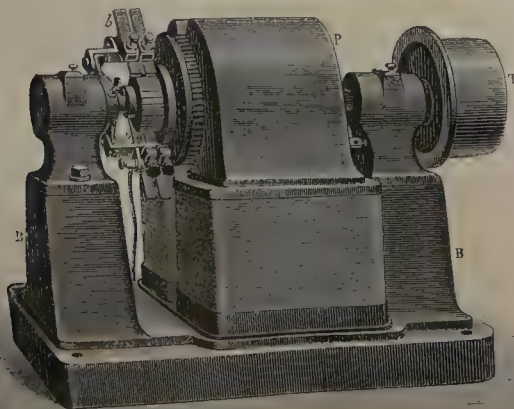



Fig. 311. — Macchina dinamo-elettrica Gramme (tipo superiore)

due poli situati all'estremità del diametro verticale; codesta calamitazione si compone con quella prodotta nell'anello dal campo magnetico che lo circonda e porta i punti ove la corrente cambia di senso sopra la linea *A B* (fig. 312). Gli è dunque là che farà mestieri disporre le due spazzole. Il piano che passa per le due spazzole così disposte fa, nel senso della rotazione dell'anello, un certo angolo col piano verticale: a quell'angolo si è dato il nome di *angolo di calettatura* delle spazzole *B B* della macchina (fig. 340). In pratica si trova facilmente quell'angolo disponendo le spazzole in guisa da ridurre al minimo le scintille che scoccano fra esse ed il collettore.

Le porzioni di filo indotto che stanno sulla faccia interna dell'a-

nello non sono utili per nulla, poichè nel loro movimento non incontrano linee di forza. Se le linee di forza varcassero lo spessore dell'anello in luogo di seguirlo, l'anello Gramme non avrebbe più valore di sorta, poichè le due metà di ogni spira subirebbero induzioni costantemente opposte, come lo dimostra una qualunque delle regole che determinano il senso delle correnti indotte. Nell' indotto cilindrico, le sole parti di filo che attraversano le basi rimangono senza effetto, ma quell'indotto è più difficile da consolidare che non sia il precedente e di una riparazione più costosa per piccolo che sia il guasto in esso verificatosi.

Nella figura 343 si vede una macchina magneto-elettrica a indotto

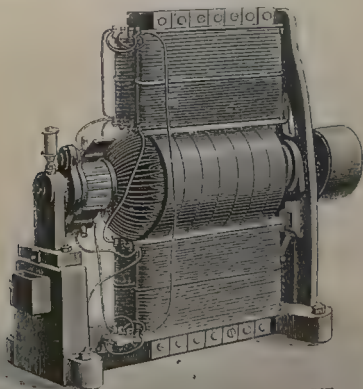



Fig. 345. — Macchina dinamo Siemens

Gramme. In alto e in basso del collettore appoggiansi le spazzole di fili di rame, attaccate ai serrafili che ricevono le estremità del circuito esterno. Un sistema di ingranaggi permette di imprimere all'indotto un rapido movimento di rotazione. Per mezzo di questa macchina, che tutti i laboratorii possiedono, si può agevolmente, nelle pubbliche lezioni arroventare un filo, decomporre l'acqua, ecc.

La figura 344 rappresenta un'ottima dinamo ad indotto Gramme ed a corrente continua: le due elettro-calamite sono verticali e formate da due nuclei di ghisa vuoti a sezione rettangolare. Essi son fusi in un sol pezzo col piedestallo. Le spazzole *b b*, il collettore e l'indotto sono costituiti come precedentemente fu detto; i dilatamenti polari *P* circondano l'indotto. Questo poi riceve il suo movimento da una cigna che passa sul tamburo *T*.

È inutile moltiplicare le descrizioni dei varii tipi di macchina. Il lettore è ormai famigliare quanto basta cogli organi che le costituiscono per riconoscerle colla semplice ispezione dei disegni che ne danno le riviste ed i trattati speciali.

La figura 345 rappresenta una macchina Siemens sotto la sua forma attuale, e la figura 353 l'ultimo modello adottato dalla Società Edison. L'indotto di queste macchine è a spola. Si è diminuita, per quanto fu possibile, la lunghezza del circuito magnetico seguito dalle linee di forza, come pure la perdita all'intraferro, il che imparte alle macchine re-

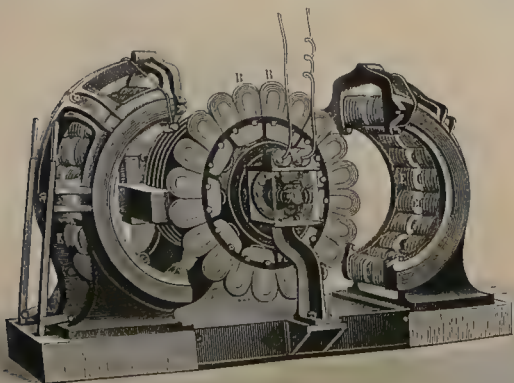



Fig. 346. — Dinamo Ferranti a correnti alternative

centi una forma sempre più raccolta. La figura 349 rappresenta una dinamo Westinghouse direttamente accoppiata ad una macchina a vapore a grande velocità.

Vogliam pure far menzione della macchina Ferranti a correnti alternative, la quale destò molto rumore quando apparve nel 1882. L'indotto è formato da un nastro di rame piegato sopra sè stesso in guisa da formare una specie di stella a 16 rami (fig. 346); esso gira dinanzi a due ordini di elettro-calamite induttrici i cui poli nord e sud sono alternati. In questa guisa due raggi vicini dell'indotto si avvicinano, uno al polo nord, l'altro al polo sud, le correnti prodotte sono dunque di senso contrario secondo quei due raggi e, per conseguenza, si sommano come si conviene, vale a dire che si cammina nel senso delle diverse correnti indotte seguendo in un medesimo senso il nastro di ramo. Pa-

Fig. 317. — Gramme, essendosi creato una teoria dei fenomeni di induzione, inventa l'anello che porta il suo nome

recchi nastri sono sovrapposti ed isolati gli uni dagli altri da fogli di cartone. Così si aumenta la forza della macchina.

Il nostro scopo è raggiunto, ormai noi possediamo generatori di energia elettrica alimentati da un'energia meccanica qualunque. Fra queste havvene una che costa nulla: l'energia delle cadute d'acqua, dei venti... È dunque facile avere energia elettrica a buon mercato. Così svanisce il principale inconveniente connesso all'uso dei motori elettrici l'alto prezzo del loro lavoro.

Ma v'ha di più. Avvicinando le conseguenze tratte dalle leggi dell'elettro-magnetismo a quelle tratte dalle leggi dell'induzione, si vede senza fatica che un motore elettrico deve essere anche un generatore di elettricità ed inversamente.

Infatti basta lanciare una corrente elettrica nel filo dell'indotto di una dinamo per vedere, come era preveduto dalle leggi in argomento, girare quell'indotto in senso inverso di quello che dovrebbe prendere per fornire la corrente che vi è lanciata. In tali condizioni la dinamo funziona come ricevitrice.

Si rimane compresi di meraviglia nel vedere quanto tempo siasi fatta attendere la constatazione della *riversibilità* delle macchine di induzione. Eppure Jacobi aveva notato che l'ago di un galvanometro intercalato in un circuito comprendente una batteria di pile ed un motore elettrico si avvicinava tanto più allo zero quanto più velocemente girava il motore. Esso funzionava al pari di pile che si fossero messe in *opposizione* (1) con quelle della batteria. D'altra parte Pacinotti aveva scritto nel 1864 che il suo motore, messo in movimento colla mano, manteneva nel circuito una corrente sempre del medesimo senso.

Fu il 3 giugno 1873, all'Esposizione di Vienna, che Fontaine e Bréguet fecero il primo esperimento pubblico sulla riversibilità della macchina Gramme, vale a dire il primo esperimento sul trasporto della forza a distanza per mezzo di apparecchi identici. Due macchine Gramme collocate a poca distanza l'una dall'altra erano collegate da due conduttori. La generatrice era animata da un motore a gas e la ricevitrice faceva movere una tromba che sollevava acqua.

Dopo questo esperimento il problema del trasporto dell'energia a distanza sembra dimenticato, e fa d'uopo arrivare al 1877 per vederne una prima applicazione al deposito centrale di artiglieria: una macchina da dividere era assoggettata ad un motore Froment che riceveva la corrente di una macchina Gramme animata dalla motrice a vapore dell'officina. Più tardi il motore Froment fu surrogato da una seconda macchina Gramme. La generatrice e la ricevitrice erano separate da una distanza di 60 metri.

Nelle officine della Società di Val d'Osne, a Parigi, una macchina Gramme, collegata ad una motrice a vapore, ne faceva girare un'altra destinata alla galvanoplastica, e piantata alla distanza di 160 metri dalla prima.

Nel maggio 1879, un esperimento più importante venne fatto nella

(1) Due elettromotori sono messi in opposizione quando si riuniscono con fili metallici i loro poli del medesimo nome. Essi allora si contrariano dal punto di vista della corrente che ciascuno tende a stabilire nel circuito.

fabbrica di zuccheri di Sermaize (Marna) da Chrétien e Félix. Due macchine Gramme che dovevano agire da ricevitrici erano piantate alla estremità di un campo che si trattava di arare coll'elettricità. Una di quelle ricevitrici trovavasi alla distanza di 400 metri dalla generatrice dell'officina che riceveva il movimento da una motrice a vapore; l'altra ricevitrice era a 650 metri dall'officina. Le due ricevitrici funzionavano alternativamente tirando l'aratro per mezzo di un verricello. I fili di rame che costituivano la linea avevano due millimetri di diametro.

Alcuni mesi più tardi, in esperimenti fatti a Noisiel da Menier si potè arare così ad una distanza di 700 metri. Questa volta l'energia era fornita da una cascata d'acqua. In un'altra serie di esperienze, l'energia fu trasportata a tre chilometri.

Nello stesso anno, all'officina *Schaw's-Water chemical Works* (Scozia), una generatrice animata da una turbina era collegata per mezzo di fili metallici ad una ricevitrice che imprimeva un movimento non interrotto ad una sega circolare, un tornio ed una macchina perforatrice.

Il servizio d'artiglieria piantò pur esso alla fonderia di Bourges macchine a trazione, animate dalla corrente elettrica e destinate a misurare la resistenza dei materiali. Alcune gru scorrevoli di 20 tonnellate vennero altresì messe in azione da una ricevitrice speciale. Quelle gru servivano per maneggiare i grandi cannoni. Oggidì nei porti, nelle stazioni ferroviarie, ecc., si opera la « manutenzione » delle mercanzie per mezzo di argani e di verricelli elettrici animati da una dinamo o da accumulatori. Quelli della stazione di La Chapelle, una delle più importanti del mondo intero, vengono caricati ogni due giorni. I verricelli elettrici di quella stazione sono molto semplici: essi sono formati da due dinamo piantate sopra un carretto a quattro ruote. Una di quelle dinamo avvicina od allontana il fardello, l'altra lo alza o lo abbassa. In una mezz'ora, per mezzo di uno di quei verricelli, si possono smuovere cento sacchi o trasportare fardelli di 150 chilogrammi a 23 metri di distanza.

Tra i visitatori dell'Esposizione, scriveva il Vernier in una delle sue « Causeries scientifiques, » ben rari sono quelli che hanno rinunciato allo spasso di farsi trascinare da un capo all'altro del palazzo delle macchine sopra uno dei ponti (fig. 348) appoggiati sulle quattro file di travi di ferro che servono di sostegno alle innumerevoli trasmissioni necessarie agli apparecchi in movimento. Quelle travi insistono sopra leggiere colonne di ghisa; alla loro sommità portano una rotaja e da una trave all'altra sta un ponte appoggiato su girelle che scorrono sulla rotaja. Quel ponte è sempre carico di gran numero di persone che, sentendosi mosso da una forza invisibile, percorrono in breve tempo e senza fatica alcuna tutta la lunghezza del palazzo, lunghezza non minore di 400 metri, passando sopra le macchine in movimento che compiono il loro lavoro quotidiano.

« Come si ottiene lo spostamento di quei ponti che non hanno meno di 18 metri di lunghezza da una trave all'altra e 5 metri di larghezza, e che offrono ai visitatori una superficie di 90 metri quadrati? Lo si ottiene per virtù dell'elettricità. Ogni ponte dispone di una macchina a vapore del tipo Westinghouse della forza di 25 cavalli, la quale anima una dinamo del tipo Gramme; sul ponte vi è una dinamo che riceve la corrente recatale da due cordoni conduttori: il movimento è trasmesso

agli organi per frizione ed a tale intento l'albero della macchina ricevitrice prolungato comanda per mezzo di girelle un altro albero che serve a tre ordini di movimenti dei quali uno solo è messo in giuoco quando si tratta unicamente di far scorrere il ponte, mentre gli altri due, quando lo si voglia, possono sollevare un fardello o spostarlo trasversalmente, poichè, giova che lo si sappia, quei ponti scorrevoli non furono inventati pel loro ufficio attuale, per la passeggiata dei visitatori; essi lo furono specialmente per servire negli immensi laboratorii metallurgici moderni, ove trasportano e rimuovono pesi enormi più comodamente di quello che si faceva altra volta, quando non si possedevano che le gru di sollevamento ed era mestieri far passare i pezzi grossi dal gancio di una gru a quello di un'altra. Se voi percorrete alcune parti dell'Esposizione, ove si vedono i pezzi più mostruosi, piastre da corazzate di spessore enorme, alberi a gomito dei moderni battelli a vapore, pezzi d'artiglieria grandi come telescopii, non rimarrete compresi da meraviglia al pensare che gli ingegneri sien stati obbligati a cercare mezzi nuovi per far circolare nelle officine quei pesantissimi massi che si trasformano gradatamente e che alle volte hanno bisogno di passare rapidamente da un punto dell'officina ad un altro. I ponti scorrevoli offrirono un eccellente soluzione al quesito, ed è per eccezione che all'Esposizione sono mossi elettricamente, nei grandi stabilimenti industriali comunemente si usa assoggettarli a motrici a vapore ordinarie. »

Durante la costruzione del palazzo delle macchine, il capo del servizio meccanico ed elettrico dell'Esposizione usufruì le travi che dovevano servire alle trasmissioni per impiantarvi ponti scorrevoli che agevolarono assai il collocamento degli organi più pesanti delle macchine. Compiuta questa bisogna, si comprese che i ponti destinati soprattutto ad essere apparecchi di sollevamento erano anche apparecchi di locomozione e si ebbe un esempio interessantissimo di trazione elettrica.

Sino dal 1883 si applicava il trasporto dell'energia a distanza nelle miniere. Alla Péronnière (Loira), i vagonetti e le tine erano mossi in questo modo; altrove l'elettricità animava le pompe di vuotagione (carboniere di Déan Forest), miniere di carbone di Thalern (Austria). A Bienne (Svizzera), le macchine utensili di una fabbrica di orologi ricevevano la loro energia da un torrente vicino, ecc.

Per mostrare quanta sia l'arrendevolezza dell'energia elettrica aggiungeremo che essa fu applicata con buon esito ai palloni aerostatici (1), ai battelli galleggianti (2) o sottomarini, alle tramvie, ecc.

Sotto questo punto di vista la Francia è in ritardo. Mentre l'Ame-

---

(1) È noto in qual modo i capitani Renard e Krebs giungessero, nel 1885, a dirigere il loro pallone la *Francia* di 1860 metri cubi, capace di sollevare un carico di 2000 chilogrammi, per mezzo di un motore elettrico che animava un'elica e riceveva la corrente da una batteria di pile leggere. Le pile Renard sono formate con una mescolanza d'acido cloridrico e di acido cromico che bagna ed attacca una lamina di zinco chiusa in un sottile tubo argentato.

Nel 1883 Gastone Tissandier aveva già mostrato la possibilità di applicare i motori elettrici alla navigazione aerea. Il motore che animava l'elica dell'aerostato era una dinamo Siemens che riceveva la corrente da una batteria di pile al bicromato di potassa.

(2) Abbiamo detto che Trouvé potè rimontare la Neva con un battello spinto dall'energia elettrica fatta di pile. Nel 1881, Trouvé fece sulla Senna un'esperienza analoga col suo battello il *Telefono*. Sino dal 1882 un battello di ferro, l'*Electricity*, il cui motore riceve la corrente da accumulatori caricati alla stazione di partenza, serve ai trasporti commerciali sul Tamigi; esso può viaggiare con una velocità di 14 chilometri all'ora.

rica enumera 238 società di strade ferrate o di tramvie elettriche, utilizzando 2673 chilometri di strada e servendosi di 2938 vetture, in Francia esistono due sole tramvie elettriche.

Una di quelle tramvie va, a Parigi, dalla Maddalena a Courcelles. È una carrozza unica che non presenta all'occhio veruna differenza da quelle trascinate da cavalli; il motore elettrico è nascosto; un sol

Fig. 318. — Il ponte scorrevole elettrico nella galleria delle macchine all'Esposizione universale del 1889.

uomo basta per la manovra. In questo sistema l'energia elettrica è ottenuta per mezzo di accumulatori condotti alle stazioni già caricati.

Una resistenza variabile — vale a dire una lunghezza di filo metallico variabile — introdotta nel circuito permette di modificare la velocità della corsa; quella resistenza sta fra le mani del cocchiere, che, cambiando il senso della corrente può anche camminare avanti e indietro a piacer suo. Le spazzole, fatte di solito con lamine di rame o con fili pure di rame, sono surrogate da piastre di carbone che danno

meno scintille. La trasmissione si fa per ruote dentate imperniate sugli assi motori.

Nel sistema americano, ove fa d'uopo una dinamo generatrice d'elettricità ed i fili, il conduttore è di rame; esso si ramifica a piacimento e comunica col polo positivo della macchina; le rotaje completano il circuito e sono in relazione col polo negativo. La comunicazione del veicolo col conduttore è sempre garantita, mercè una puleggia che segue docilmente il conduttore.

Quando si tratta di decidersi per un sistema di trazione elettrica, ci son molte buone ragioni per preferire il sistema degli accumulatori al sistema delle dinamo mobili. attaccate al carro. La più importante è questa; il sistema degli accumulatori permette di dare lavoro durante il giorno alle stazioni centrali che servono solo a creare luce di notte, e che se non caricassero i loro accumulatori, resterebbero inutilizzate la metà del tempo.

È chiaro che tutto si collega, quando si entra nella via delle applicazioni dell'energia elettrica.

L'altra tramvia elettrica francese è in Alvernia sulla strada da Clermont-Ferrant a Royat, strada tutta piana dominata dal Mont-Dore.

Quella tramvia serve sette stazioni sopra un percorso di 7 chilometri. Qui il movimento non è ottenuto da accumulatori. La corrente elettrica circola lungo un conduttore laterale situato su pali. La carrozza piantata sulle rotaje è collegata da un filo e da uno corsojo al conduttore laterale.

La corrente passa per quella via nel motore elettrico della carrozza. L'officina motrice si trova a Clermont-Ferrand: essa comprende un motore Farcot di 150 cavalli che anima una dinamo Thury a 6 poli. La dinamo genera la corrente di 300 volts e 400 ampères che circola lungo il conduttore di rame sorretto da pali di ferro di 8 metri di altezza distanti 40 metri uno dall'altro. Non vi ha che un conduttore solo; il ritorno della corrente si effettua per la carrozza e per le rotaje. Il conduttore è un tubo di rame di sezionò quadrata, la cui parte inferiore ha una fenditura. Nell'interno può scorrere una spola lunga 40 centimetri munita inferiormente di un uncinetto che permette di attaccare un filo metallico che si collega alla carrozza. Durante il viaggio. l'uncinetto colla spola ed il filo si spostano lungo la fenditura inferiore del conduttore. La corrente arriva così continuamente alla carrozza nella quale fu piantata una dinamo ricevitrice. La dinamo anima le ruote. Il cocchiere sta sulla piattaforma davanti ed ha sotto la mano il commutatore che regola la velocità della corsa, velocità che non può oltrepassare i 20 chilometri all'ora.

Nel 1881, Marcello Deprez fece importanti esperienze sopratutto dal punto di vista della ripartizione e della distribuzione dell'energia elettrica trasportata; la distanza dalla generatrice alla ricevitrice non sorpassava 1800 metri.

Il problema della distribuzione dell'energia è ancora allo studio. Perchè sia sciolto in un modo veramente pratico fa evidentemente mestieri:

1.' Che tutti gli apparecchi ricevitori ricevano la parte di energia che loro è necessaria, ma nè più nè meno: una macchina da cucire non ha bisogno di energia come un argano;

2.° Che quei ricevitori possano funzionare in modo indipendente. La fermata di alcuni di essi non deve influenzare il lavoro degli altri;

3.° Che quei risultati sieno raggiunti automaticamente ed istantaneamente per la sola azione dell'apparecchio e senza l'intervento di un soprastante;

4.° Fa d'uopo in fine che il generatore di elettricità fornisca ad ogni istante la sola quantità di energia necessaria agli apparecchi che funzionano in quell'istante;

5.° Che vi sia un contatore particolare il quale indichi l'energia elettrica consumata da ogni singolo associato alla rete servita dai generatori.

Non insisteremo sulle difficoltà tecniche della questione.

È da notarsi che tutti gli impianti, tutti gli esperimenti precedentemente descritti concernono il trasporto dell'energia elettrica a piccola distanza.

Che cosa succederebbe se le generatrici e le ricevitrici fossero molto lontane le une dalle altre?

Per ottenere la risposta a tale quesito, Marcello Deprez si è rivoltato all'esperienza. Egli procedette ai preparativi giovandosi di tutte le indicazioni della teoria e di tutti gli spedienti del suo ingegnoso intelletto. Coadjuvato da eminenti scienziati, misurò il lavoro consumato dalla generatrice durante un certo tempo, e quello che era disponibile sull'albero della ricevitrice. Più alto sarà il rapporto fra questo lavoro ed il primo, e migliore sarà l'impianto del trasporto dell'energia a distanza. Questo rapporto si chiama il *rendimento pratico*, industriale, dell'impianto. Deprez eseguì le prime esperienze di questo genere all'Esposizione d'elettricità di Monaco nel settembre 1882. La generatrice era installata nella piccola città di Miesbach, a 57 chilometri da Monaco ove si trovava la ricevitrice; questa fu la prima esperienza a grande distanza. Le correnti impiegate erano correnti ad alta tensione (2000 volts), le dinamo generatrice e ricevitrice erano identiche e derivavano dal tipo Gramme, il filo della linea era di ferro ed aveva il diametro di millimetri 4,5. La ricevitrice installata nel palazzo di cristallo mise in movimento per otto giorni una pompa che alimentava una cascata di circa 2 metri e 1/2 di altezza. Guasti sopravenuti alle macchine misero fine alle esperienze.

Esse furono riprese a Parigi nel 1883. Una commissione composta dei signori Freycinet, Tresca, Bertrand, Cornu, fu nominata dall'Accademia delle Scienze per effettuare le misure necessarie. Gli esperimenti furono eseguiti nei mesi di febbrajo e marzo 1883. La generatrice e la ricevitrice erano piantate nelle officine della strada ferrata del Nord, messe a disposizione del Deprez da quella società; esse erano riunite da una parte con un filo corto, dall'altra mediante un filo telegrafico di ferro galvanizzato di 4 millimetri di diametro che passava per la stazione di Bourget e presentava uno sviluppo totale di 17 chilometri. Impiegando 1 cavallo-vapore sull'albero della generatrice, si riconobbe che sull'albero della ricevitrice si raccoglieva 1/3 di cavallo vapore il rimanente andava disperso in calore nella trasformazione e nel trasporto.

L'assetto sperimentale della stazione del Nord offriva il vantaggio di poter collocare le due macchine a fianco l'una dell'altra e di agevo-

lare perciò assai le misure simultanee, ma essa differisce dalle condizioni imposte al trasporto della forza a grande distanza, causa la congiunzione diretta delle due macchine; si poteva dunque elevare una objezione contro quel modo di sperimentare, attesochè la perdita pei pali era favorevole alla marcia delle macchine. Per mettersi in condizioni più conformi alla realtà e rispondere alle critiche spesso violenti ed ingiuste che gli si movevano, Deprez accettò le proposte del signor Rey, sindaco di Grenoble e delegato da quella città ad assistere agli esperimenti della stazione del Nord.

Le macchine, che al momento dell'impianto erano state danneggiate da un acquazzone, furono racconciate ed esperimentate nell'Isère. La generatrice piantata a Vizille in una officina allora disoccupata, riceveva il movimento da una turbina; essa era collegata alla ricevitrice,

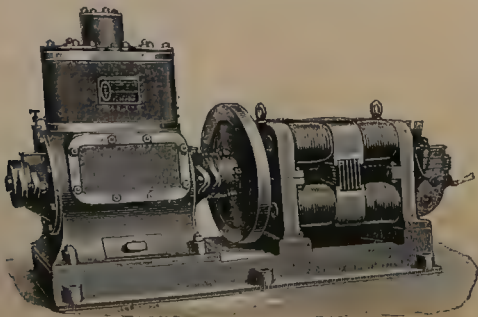



Fig. 310. — Macchina a vapore Westinghouse accoppiata direttamente ad una dinamo Westinghouse.

situata nel mercato di Grenoble, da fili nudi di bronzo silicioso di 2 millimetri di diametro, sostenuti da isolanti di porcellana fissati a pali. La distanza del trasporto era di 14 chilometri. Gli esperimenti incominciarono nell'agosto 1883 e furono continuati con buon esito durante parecchi mesi. Deprez fece pure esperienze di distribuzione elettrica; alimentazione di 108 lampade nei mercati di Grenoble, animazione di una macchina da stampare, di un tornio da legno e di una sega a nastro. Il rendimento fu molto superiore a quello delle esperienze della stazione del Nord.

Nel 1885, altre esperienze fatte a Creil diedero il risultato seguente. 116 cavalli-vapore consumati a Creil diedero 52 cavalli-vapore utilizzabili a Parigi. La tensione raggiunse 6300 volts. Nel primo esperimento 164 cavalli consumati a Creil davano 80 cavalli-vapore a Parigi. La tensione sorpassò 9000 volts, cifra mai raggiunta prima d'allora. Il sistema di trasmissione Deprez fu applicato la prima volta a Bourganeuf (Creuse) nel 1888: esso continua a dare ottimi risultati.

Il complesso delle indagini del Deprez dimostra la possibilità del trasporto dell'energia a grandissime distanze ed in buone condizioni. Quell'esimio elettricista, in previsione di trasmissioni più importanti, fece costruire una macchina elettrica che venne esposta nel palazzo delle macchine all'esposizione del 1889 e che è una delle più poderose che esistano; ha una forma elegante e pesa appena quattordici mila chilogrammi.

La più grande macchina di induzione fu costrutta nel 1889 per la stazione centrale di Deptford allo scopo di dare la luce ad una parte molto estesa di Londra.

Quella macchina, veramente gigantesca, ha un'armatura il cui diametro è di dodici metri. Come siamo lontani dai primi anelli di Gramme, dalle piccole macchine modeste che diffusero per le prime l'uso della luce e dell'energia elettrica! L'enorme dinamo di Deptford, per met-

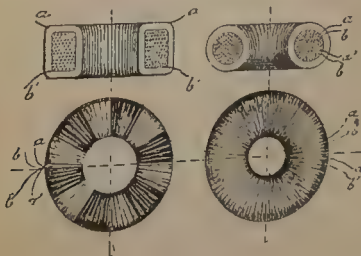



Fig. 350. — I due tipi di trasformatori.

tersi in azione richiede il lavoro di una macchina a vapore di mille duecentocinquanta cavalli.

Si nutriva qualche inquietudine circa il buon funzionamento di un sistema concepito in quelle proporzioni affatto inusitate, ma gli esperimenti riuscirono felicemente. Fu il 7 novembre 1890 che la corrente elettrica di Deptford fu trasmessa a Londra per la prima volta. La macchina dinamo in quelle prime prove non sviluppò che una corrente di 5000 volts; la metà soltanto di quanto dovrà dare più tardi. La corrente ad alta tensione fu condotta a Charing-Cross, alle arcate Adelphi; su quei punti, fu ricevuta in primo luogo da trasformatori che l'hanno abbassata a 2100 volts; altri trasformatori in certi punti della rete possono abbassarla a soli 100 volts, cifra oggidì normalmente adottata per gli usi definitivi della corrente.

L'esperimento dell'officina centrale elettrica di Deptford presenta un grande interesse; esso dimostra che si può realizzare il programma dell'illuminazione elettrica senza erigere nel cuore delle città officine rumorose con macchine a vapore, fumajuoli altissimi che spandono denso fumo, piantando fuori del centro officine dalle quali partano correnti ad alta tensione ben protette da isolatori e trasformando quelle cor-

renti nelle parti più popolose della città per mezzo di opportuni trasformatori.

Nelle applicazioni dell'energia elettrica, ragioni di economia inducono a trasportare l'energia stessa sotto forma di correnti di poca intensità e ad alta tensione.

Ciò crea la necessità di ricondurre quell'energia ad una tensione opportuna nel sito ove deve essere consumata.

Questo è l'ufficio del *trasformatore*.

Supponiamo che si tratti di correnti alternative destinate alla illuminazione: i trasformatori impiegati si riducono a due tipi semplicissimi.

Essi sono rappresentati dalla figura 350: sopra un nucleo di fili di ferro isolati simile a quello dell'indotto Gramme, sono avvolti insieme due fili; le estremità del filo $a\ b$, che è molto più lungo dell'altro, sono attaccate alle estremità del circuito che conduce la corrente alternativa, la quale induce nel secondo filo $a'\ b'$ una corrente che viene usufruita, e va, per esempio, nelle lampade ad incandescenza.

Nel rocchetto di Ruhmkorff, che scioglie un problema inverso di quello sciolto dal trasformatore precedente, il filo secondario è per converso più lungo che il filo primario!

Nel secondo tipo (fig. 350) i due circuiti, primario $a\ b$ e secondario $a'\ b'$, sono avvolti in maniera da formare un anello e su quell'anello si avvolge per di più un filo di ferro.

Chi dimostrò con esperimenti continuati, con rara energia tutto il vantaggio che si poteva ritrarre dai trasformatori fu Luciano Gaulard (1).

---

(1) « Luciano Gaulard è morto a Parigi il 26 novembre 1888 in età di 38 anni. La sua carriera si è terminata in modo tragico: da più di un anno, la malattia cerebrale che lo ha ucciso, ed i suoi più che modesti mezzi di fortuna, avevano costretto i suoi congiunti a cercargli un rifugio nell'asilo di Sant'Anna; nel tempo stesso l'invenzione che gli costava la vita, quella de' suoi generatori secondarii, prendeva in America uno slancio industriale notevole mercè la Società Westinghouse: il contrasto era doloroso.

« Gaulard non era uno scienziato, era un veggente: egli apparteneva a quell'era eroica dell'elettricità, era che passa, e durante la quale noi abbiamo veduto le più grandi invenzioni elettriche uscire belle e complete dal cervello di genii che la scienza non aveva prima coltivato!

« Gaulard, da chimico che era, si fece elettricista; egli si era occupato a lungo dei composti esplosivi. All'Esposizione internazionale d'elettricità del 1881, presentò una pila termochimica. Quella era evidentemente la transizione, poichè nei due anni susseguenti, 1882 e 1883, traduceva in fatto il suo *trasformatore*.

« Nell'ottobre 1883, egli illuminava a Londra, sopra una lunghezza di parecchi chilometri diverse stazioni della Metropolitana, in modo continuo e con esito felicissimo. L'anno seguente, all'Esposizione di Torino, nel 1884, egli introduceva nel suo sistema un complemento importante, il suo regolatore della corrente primaria. Concorse pel gran premio, e lo ottenne in seguito ad esperimenti prolungati. Quegli esperimenti servirono a stabilire da una parte il rendimento elevato del sistema e, dall'altra, che gli apparecchi reggevano senza inconvenienti ad un lavoro prolungato.

« Mi sia concesso soffermarmi un istante su questo periodo della sua vita; fu quello delle grandi angoscie, ma fu altresì quella del suo trionfo; non fu così più tardi; egli ripassò per le medesime prove, ma non ebbe il guiderdone al quale aveva diritto.

« L'esperimento di Torino e di Lanzo è memorabile e forma epoca. Sopra un percorso di 40 chilometri (distanza che separa Torino da Lanzo, 80 chilometri fra andata e ritorno) Gaulard produsse la luce elettrica negli apparecchi più svariati. Al punto di partenza, all'Esposizione di Torino: 34 lampade Edison da 16 candele, 48 lampade da 8 candele, 1 lampada ad arco Siemens. Alla stazione della Venaria: 2 lampade Siemens. Alla stazione di Lanzo all'arrivo: 9 lampade Bernstein, 16 lampade Swan, 1 lampada soleil, 2 lampade ad arco. Tutti quei focolari agivano contemporaneamente ed indipendentemente gli uni dagli altri. Il filo della linea era di ferro cromato di mm. 3,7 di diametro e sostenuto dai pali telegrafici della strada ferrata.

« Gaulard fece il suo impianto da solo ed in brevissimo tempo. Nell'ultimo momento, in

La trasformazione non assorbe che piccolissima frazione dell'energia portata dalla corrente.

« Nel trasformatore Gaulard, le spire del rocchetto primario alternansi colle spire del circuito secondario sopra un nucleo rettilineo di ferro. Talvolta si uniscono con raccordi due nuclei consimili e si forma un circuito magnetico omogeneo. I due avvolgimenti sono costituiti da segmenti annulari tagliati collo stampo nella lamiera di rame. I segmenti sono sovrapposti, isolati per mezzo di anelli di cartone sottile e riuniti per mezzo di attacchi sporgenti in guisa da costituire due eliche a nastro. L'elica primaria è continua, ma l'elica secondaria è divisa in parecchie sezioni associate in derivazione.

« La concatenazione dei due circuiti del trasformatore ha l'inconveniente di moltiplicare le probabilità dei contatti interni e per conseguenza espone al pericolo di una tensione elevata.

« Inoltre, i due circuiti si comportano come le armature di un condensatore; il che, visto il potenziale elevato del primario, espone a scariche elettriche pericolose (1). »

Gli ingegneri Zipernowski, Deri e Blaty, delle officine Ganz e C.ª, hanno costruito trasformatori appartenenti ai due tipi.

La figura 351 mostra l'aspetto esterno di uno di quei trasformatori.

Il trasformatore Westinghouse, molto usato in America, è rappresentato nella figura 352.

È inutile moltiplicare i modelli di trasformatori; basta afferrarne il principio, che è il medesimo per tutti quegli apparecchi dei quali il rocchetto di Ruhmkorff è il tipo.

La città di Parigi, in seguito al concorso da essa bandito per l'illuminazione elettrica dei Mercati, ha scelto due tipi ben distinti di macchine; essa ha voluto avere un tipo per le correnti continue a bassa tensione, e l'ha chiesto alla Società Edison, un altro tipo per le correnti alternative ad alta tensione, ed ha scelto il tipo Ferranti, già utilizzato a Londra ed applicato sopra una scala inusitata all'officina di Deptford.

Ci sono sei dinamo Edison (fig. 353) e tre dinamo Ferranti. Abbiamo già descritto quei tipi e non ce ne occuperemo ulteriormente: piuttosto impegneremo la nostra attenzione sulle canalizzazioni adottate. Esami-

(1) Eric Gerard: *Lezioni sull'elettricità*.

niamo prima la rete a bassa tensione e prendiamola all'esterno dei Mercati; nell'interno furono prese disposizioni speciali. Gli ingegneri non vollero servirsi dei canali di fognatura già ingombri di numerose canalizzazioni e per la loro umidità poco favorevoli alla conservazione delle correnti; essi temettero i fenomeni di induzione che può far nascere la vicinanza troppo grande della rete telefonica e della rete destinata a dare la luce, nonchè gli accidenti di ogni genere che possono prodursi nelle fognature. Si stabilì quindi di ricorrere ad una canalizzazione affatto separata dalle fogne, malgrado il privilegio per l'uso che il consiglio municipale offriva, e si costruirono canaletti speciali in cemento gittato in forme; i cordoni sono perciò posti sotto il lastricato e lungo i canaletti si trovano di tratto in tratto cornici di legno munite di uncinetti di ghisa vetrificati che sostengono i conduttori.

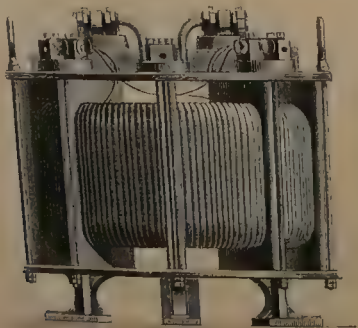



Fig. 261. — Trasformatore Zipernowski.

Quando si tratta di passare un suolo stradale, si abbassano i cordoni sino alla profondità di un metro. Ci sono poi finestrelli di spia disposti in modo da rendere facili le verifiche e le riparazioni.

I cordoni sono fili di rame stagnato attorcigliati insieme, coperti con uno strato di cauciù purissimo e di un secondo strato di cauciù misto a cotone; finalmente il tutto è protetto da una treccia di canape spalmata di catrame. Secondo i punti, le sezioni dei conduttori sono da 40 millimetri quadrati a 120. Per la rete ad alta tensione, alimentata dalle correnti Ferranti, le disposizioni prese sono diverse, e per cagione della strettezza dei marciapiedi delle vie Vauvilliers e Coquillière, si dovette ricorrere alle fogne. Il cordone è assai complesso, ed è inutile indicare i particolari della sua composizione; è chiuso in un tubo di piombo di 2 millimetri e mezzo di spessore, nel punto ove incomincia il servizio pubblico, via Croix-de-Petits-Champs, i cordoni si separano, rimanendo pur sempre perfettamente isolati, corrono entro modiglioni

di legno injettati di solfato di rame ed esteriormente incatramati, i quali a lor volta riposano sopra isolatori di porcellana entro canaletti di cemento.

La corrente alternativa, che parte dalle dinamo Ferranti e circola nella rete stabilita con tanta cura, può raggiungere una tensione di 2400 volts. È questa una corrente poderosissima, e per renderla domestica ed applicabile ai bisogni ordinarii che reclamano 100 volts all'incirca, bisogna far uso di quei trasformatori dovuti alla iniziativa di Luciano Gaulard.

I problemi dell'illuminazione elettrica occupano in questo momento tutte le capitali: a Londra ed a Nuova York in ispecial modo sollevano numerose discussioni.

Anche molto deboli, le correnti alternative sono assai pericolose. Le società dei cordoni sottomarini, che si servono di correnti alternative

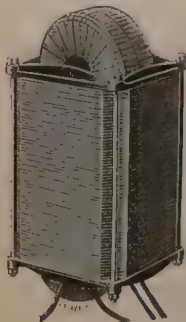



Fig. 352. — Trasformatore Westinghouse.

non ardiscono oltrepassare i 40 volts, per timore di compromettere l'isolamento, non pertanto accuratissimo, dei loro fili. Edison opina che impiegando correnti alternative non si debbono oltrepassare i 200 volts, ed accorda alle correnti continue un limite più alto che va sino ai 700 volts. In Inghilterra un atto del Parlamento impone alle correnti alternative un limite di 400 volts.

Le esperienze scientifiche, nonchè gli accidenti segnalati ad ogni istante dai diversi paesi, dimostrano che non si saprebbe mai adoperare soverchia circospezione nella posa di quelle canalizzazioni elettriche destinate ad essere percorse da correnti di una energia che crescerà coi progressi della scienza.

Fa mestieri che il pubblico sia persuaso che in quei fili immobili ed apparentemente si inoffensivi circola la folgore. Guai a chi tocca il circuito; se il filo non è bene isolato, si forma attraverso il corpo una corrente di derivazione la cui intensità può essere abbastanza grande per provocare accidenti mortali. Se, per esempio, si piglia il conduttore

nudo a due mani, la corrente attraversa il corpo e, passando da un braccio all'altro attraverso il petto, incontra il cuore. Se il circuito metallico è di forte calibro, e se quegli che lo tocca si trova isolato dal suolo perchè ha i piedi sopra un tappeto, la corrente derivata può essere debole e tutto può ridursi ad una scossa violenta. Ma se tenendo il filo con una mano l'individuo riposa sopra un suolo conduttore, la corrente attraversa tutto il corpo con una gran forza, ed allora la sua azione è quasi sempre fatale.

In conclusione, la corrente è sopratutto pericolosa quando attraversa il cuore ed il cervello. È mestieri essere convinti di questa verità, che il contatto dei fili è pericoloso, oggi che nelle nostre case stesse corrono conduttori la cui tensione elettrica, spesso superiore ai 500 volts, è capace di determinare accidenti gravissimi. Sino a tanto che la materia isolante è nuova e di buona qualità, ogni pericolo è allontanato, ma le vibrazioni della corrente danno origine ad un movimento vibratorio e molecolare nella materia isolante e distruggono gradatamente la sua elasticità.

Quando la materia isolante è così trasformata, l'umidità vi penetra e l'acqua diventa il conduttore elettrico che mette in comunicazione il filo con ciò che lo avvicina.

L'elettricità è pericolosa per tre titoli. In grande quantità e poca intensità, distrugge per fusione i conduttori insufficienti ed i semiconduttori; ad alta pressione distrugge per rottura i conduttori insufficienti e mostra una tendenza ad abbandonare il cammino che le è tracciato per aprirsene un altro. Finalmente, pel fatto solo della sua presenza in un conduttore, l'elettricità nel penetrarvi o nell' uscirne suscita una corrente indotta momentanea nei conduttori vicini.

In Francia sino ad ora le disgrazie furono rarissime. A Parigi se ne contano due, e la prima fece grande impressione. Nel 1882 la stampa dava una festa di beneficenza al giardino delle Tuileries. Un imprudente volle introdursi fraudolentemente nel giardino illuminato a luce elettrica. Afferrò un cordone conduttore non rivestito di materia isolante e cadde fulminato.

Il comune di Dieulefit, nella Drôme, è illuminato elettricamente sino dal 23 dicembre 1882. La corrente elettrica alternativa è prodotta a Béconne da una forza idraulica, ed arriva a Dieulefit, distante quattro chilometri, sopra un conduttore primario fuori di portata (a meno che non lo si voglia) con una tensione di 2000 volts, tensione necessaria pei trasporti di forza molto lunghi. Di là la corrente passa pei trasformatori del sistema Zipernowsky e ne esce nella condotta secondaria con una tensione di 100 volts usufruibile per l'illuminazione.

Un operajo muratore, non volendo credere che quei fili di rame, che vedeva davanti alla sua finestra, potessero avere un'azione qualunque, stabilì di convincersene per esperienza propria. A tal uopo una bella sera del mese di settembre, si chiuse in camera e dopo aver fatto la sua toeletta da notte aprì la finestra e tese la sua destra verso uno dei fili della corrente secondaria, distante circa un metro dalla sua finestra.

Siccome non risentiva alcuna sensazione, avanzò la sinistra verso l'altro filo: immediatamente le sue dita si raggrinzarono, afferrò malgrado suo ambo i fili, ed eccolo attraversato dalla corrente alternativa di 100 volts, senza che possa difendersi.

Il dolore gli strappa alte grida, ma alle undici di notte il quartiere è quasi deserto, e ci vuole un po' di tempo prima che i vicini giungono a soccorrerlo. Per colmo di sventura, una volta arrivati presso di lui, dopo esser stati costretti a sfondare la porta del paziente, non ponno venir a capo di nulla, perchè non appena lo toccano perdono la forza; egli stesso finisce col supplicarli a lasciarlo tranquillo, sebbene continui ad urlare pel dolore.

Alla fine uno degli astanti pensò di correre al telefono e domandò a Béconne di sospendere un istante.

Allora soltanto il nostro uomo potè staccarsi dal filo colle braccia tutte indolenzite ed irrigidite, giurando che non lo avrebbero preso mai più.

Questo fatto, che all'indomani fece sorridere tutti, prova una cosa, cioè: che le correnti alternative a 100 volts sono senza pericolo, ma non senza dolore.

Il paziente subì quella tortura per più di un quarto d'ora. Che sarebbe successo se il supplizio fosse durato più a lungo? Gli è ciò che non sappiamo, ma all'indomani era ancora tutto intontito.

Si sarà notato che nel fatto di cui tenemmo parola non si tratta che di una corrente alternativa di 100 volts: si può quindi imaginare che cosa produrrebbe una corrente prolungata di 2000 volts.

Gli incendii causati dall'elettricità sono numerosi. Al teatro dell'Opéra, dopo che si surrogarono i 7500 becchi di gas con 6500 lampade Edison si sono verificati, come assicura il dottore Giulio Rochard, dodici incendii parziali, sia causa le macchine a vapore che animano gli apparecchi, sia per la denudazione dei fili o pel loro incrocio al contatto dei legnami; ma quegli accidenti non ebbero conseguenze ed è facile prevenirne la ripetizione.

In America, ove l'uso dell'elettricità come forza motrice e sorgente di luce è assai diffuso, la cifra delle disgrazie è notevole. Il numero ufficiale delle persone uccise dall'elettricità agli Stati Uniti dopo il 1880 ammonta a centosedici. In quanto agli incendii, non si contano nemmeno più. I pompieri sono allora in particolar modo compromessi. Quando crolla un tetto trascinandosi dietro la rete di fili elettrici che vi è appesa, essi possono venire fulminati. Si cita il caso di uno che fu colpito a morte per aver tagliato con un colpo di accetta un filo che gli impediva di applicare la sua scala. Il fluido era risalito lungo il manico umido dell'accetta. Un fisico di Nuova York, Beniamino Park, ha provato con esperimenti che la corrente elettrica può trasmettersi pel getto d'acqua di una tromba da incendio ed uccidere il pompiere che tiene in mano la lancia.

Un dramma terribile si è svolto il 12 ottobre 1889, verso la metà del giorno, sull'angolo del Centro e di Chambers-street, in uno dei quartieri più animati di Nuova York, nel momento in cui si fanno più affari. Un impiegato telegrafico dovette salire sopra un immenso palo che sosteneva i fili conduttori. Giunto alla sommità e dopo aver evitato con ogni cura di toccare i fili che alimentano le lampade elettriche ad arco, quell'uomo penetrò nel fitto dei fili situati in alto, toccandoli impunemente, perchè quelli sono attraversati solo da correnti deboli.

Ma il numero dei fili era sì notevole che l'infelice impiegato fu ben presto prigione in quella ragnatela di nuovo genere. Tuttavia si stu-

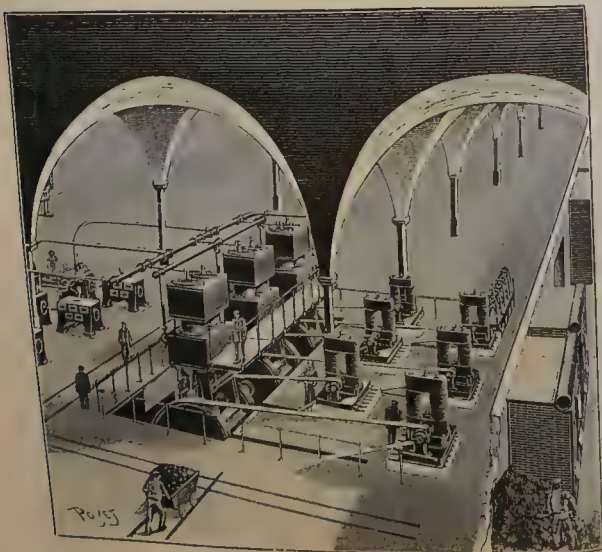
diava di continuare la sua ascensione perigliosa, quando a sua insaputa fu preso da un filo attraversato da una corrente intensa e dal quale non potè svincolarsi. Allora incominciò una scena orribile: la folla, accortasi di ciò che succedeva, rimaneva spettatrice del dramma senza sapere come portar soccorso allo sventurato, il cui viso si contraeva spasmodicamente sotto le sofferenze atroci che provava. Ben presto incominciarono ad uscire fiamme dalla bocca, dalle mani, dalle scarpe di lui: il meschino era bruciato vivo ed a fuoco lento. Per più

Motrici a vapore Weyher e Richemond. Dinamo Edison. Caldaje Belleville

Fig. 354. — Officina municipale di elettricità dei Mercati centrali

di una mezz'ora il pubblico fu testimonio di quell' agonia, e quando arrivarono i soccorsi della *Western Union Telegraph C.*, era troppo tardi. Non si trovò più che un cadavere completamente carbonizzato (fig. 354).

In seguito a quelle terribili peripezie, il municipio di Nuova York fece togliere più di 110 000 chilometri di fili elettrici aerei. Ma i fili sotterranei non sono meno pericolosi. Quale successione di scariche di fulmine potrebbe eguagliare gli effetti di una concentrazione di elettricità

Fig 361. — Bruciato vivo dall'elettricità

pari a quella di cui parla l'esempio seguente: « Sull'angolo di William street e di Wall street (Nuova York) la continuità dei conduttori sotterranei della luce elettrica essendosi per caso interrotta, la corrente, alla pressione di 100 volts appena, fuse i conduttori, i tubi di ghisa che li contenevano, sopra una lunghezza di parecchi piedi, ed anche il *selciato adiacente* sulla superficie di due metri. »

Edison afferma che i fili sotterranei sono più pericolosi dei fili aerei. « Non v'ha sistema di isolamento, scrive il sommo elettricista, che valga ad imprigionare, a confinare quelle correnti ad alta tensione più che per un tempo limitato; e quando i fili sono sotterra, col sistema di conduttura attuale, il risultato è forzatamente una serie di contatti funesti, la fusione dei fili, la formazione di archi elettrici poderosi che si estenderanno ad altri conduttori metallici nella medesima condotta: una massa intera di fili riceverà quelle pericolose correnti e le condurrà nelle case, nei magazzini, ecc. Perciò è evidente che il pericolo di tali circuiti non è punto circoscritto ai fili che condensano le correnti ad alta tensione, poichè anche altri fili che conducono correnti inoffensive sono in pericolo di diventare altrettanto mortali nei loro effetti quanto lo sono i primi. È pure evidente che un semplice filo che conduce una corrente ad alta pressione sarà una minaccia perenne per tutti gli altri fili della medesima condotta. E quand' anche quei fili pericolosi fossero collocati entro tubi speciali o così separati dagli altri di una stessa condotta, il rischio non sarebbe guari diminuito. »

I fisici ed i fisiologi hanno riconosciuto che la frequenza delle disgrazie era da attribuirsi all'impiego ognora più diffuso delle correnti alternative ad alta tensione. Edison divide le correnti attualmente impiegate nell'industria in quattro classi a seconda dei loro effetti: 1.° le correnti continue, che quando sono deboli attraversano il corpo senza produrre sensazioni sgradevoli; 2.° quelle che sono molto energiche e che incominciano a diventare pericolose; 3.° le correnti intermittenti, che col loro contatto producono la paralisi e talfiata la morte; 4.° finalmente le correnti alternative ad alta tensione che uccidono come la folgore quelli che ne ricevono il colpo.

Sono appunto queste ultime che furono scelte dai partigiani dell'esecuzione capitale per mezzo della elettricità, esecuzione (1) che il

(1) Nel 1888 la legislatura dello Stato di Nuova York votava, dopo lunga ed accalorata discussione, la legge che prescrive l'uso della elettricità per l'esecuzione dei condannati a morte o elettro-esecuzione.

Parecchi specialisti avevano insistito sul carattere inumano della morte per impiccagione, dimostrando che la colonna vertebrale non è rotta istantaneamente e che il paziente subisce una lenta strangolazione che dura da venti a trenta minuti.

Una commissione parlamentare, incaricata di esaminare con qual sistema di esecuzione si sarebbe potuto surrogare l'impiccagione, si era arrestata all'esecuzione per mezzo della elettricità e la legge che consacrava questo nuovo sistema fu promulgata definitivamente il 1.° gennaio 1889.

Alcune settimane dopo quella promulgazione, Kemmler, abitante di Filadelfia, uomo di circa quarant'anni, uccise in un impeto di gelosia la sua amante Matilde Seigler. Sebbene nel momento del delitto fosse ubbriaco, fu condannato a morte il 24 giugno 1889. Per il primo egli doveva subire il nuovo metodo di esecuzione. Mercè le sottigliezze della legge americana, gli avvocati di Kemmler poterono far ritardare per quattordici mesi l'applicazione della sentenza, che essi attaccavano non sul fondo, ma per vizio di forma, contestando la validità della nuova legge sulla elettro-esecuzione.

Frattanto fra gli scienziati si impegnavano vere battaglie a proposito dell'efficacia del nuovo metodo di esecuzione.

L'elettricista Aroldo Brown, l'inventore dell'apparecchio che doveva servire all'esecuzione,

6 agosto 1890 diè luogo ad una scena di orrore nella prigione d'Auburn, a Nuova York.

Il materiale necessario per questa esecuzione elettrica constava di una macchina a correnti alternative Westinghouse e della sua eccita-

— —

sosteneva con Edison, col dottore Petersen e con altri specialisti, l'infallibilità della corrente alternativa ad alta tensione come istrumento di morte immediata e senza dolore, e tutti quegli scienziati si sforzavano di convalidare la loro asserzione facendo esperimenti sopra cavalli, vitelli, cani, la massima parte dei quali soccombeva effettivamente sotto una scossa di 700 volts.

Nel campo opposto, eminenti elettricisti, il dottore Franklin Pope, John Noble, il professore Alessandro Mac Adie sostenevano che non si è mai certi di infliggere la morte ad un individuo mediante una scossa elettrica di intensità determinata, dipendendo il tutto dalla forza di resistenza dell'individuo.

Il Mac Adie raccontava di essere salito sul monumento di Washington durante un terribile uragano, di aver immagazzinato elettricità sino alla concorrenza di 3000 volts; narrava che la scossa aveva fatto rizzare i suoi capelli, scaturire scintille dalle sue vesti, e nondimeno concludeva: rimasi perfettamente incolume. Si citavano molti casi analoghi. Tuttavia i partigiani della morte per elettricità finirono a trionfare. Ecco la storia della terribile esperienza fatta a Nuova York il 6 agosto 1890.

Kemmler era stato destato alle quattro dal suo guardiano; si vestì con cura inusitata e tangugiò una colazione sommaria. Terminato l'asciolvere, entrarono nella cella il cappellano della prigione ed il dottore Hougton.

Scorgendoli, Kemmler disse senza commoversi:

— Vedo che venite a dirmi addio: sono pronto.

E bevette un bicchierino di cognac.

A sei ore e trentotto minuti si aprì la porta della camera di esecuzione. Apparve la faccia del guardiano Durston. Dietro a costui si vedeva un uomo basso di statura, dalle larghe spalle, dai capelli accuratamente acconciati e vestito d'un abito affatto nuovo: era Kemmler, l'uomo che doveva esser giustiziato. Il cappellano lo seguiva.

Kemmler era certamente il meno commosso dei tre.

Non guardò in giro nella camera con interesse particolare, ma quando sentì chiudersi l'uscio dietro di sè, ebbe un momento d'esitazione, e disse brevemente:

— Vorreste darmi una scranna?

Il guardiano gli offerse una seggiola di legno, che egli collocò davanti ed un po' a destra della seggiola d'esecuzione, dirimpetto ai testimonii riuniti nella piccola stanza.

Kemmler si mise a sedere tranquillamente.

Guardò intorno a sè, in alto, in basso, senza mostrare paura o un interessamento qualsiasi.

— Signori, disse il guardiano, quest'uomo è William Kemmler: io gli ho annunziato che doveva morire e che se aveva qualche cosa da dire lo dicesse subito.

Kemmler parve avesse preparato un discorso, e disse:

— Va bene. Signori vi auguro ogni specie di buona fortuna in questo basso mondo; in quanto a me confido di andarmene in uno migliore. I giornali hanno raccontato una folla di cose che non sono vere. Ciò è quanto avevo a dire.

Kemmler si tolse l'abito e lo consegnò al guardiano. I suoi pantaloni erano stati tagliati di dietro in guisa che si potesse vedere la base della spina dorsale.

— Fatevi coraggio, disse il guardiano a Kemmler che era calmissimo, più calmo di tutti gli astanti.

Kemmler si assise allora sulla seggiola elettrica, tranquillamente, come se si fosse trattato di sedere a mensa.

Si accomodarono le cigne intorno al corpo del condannato, che offriva egli stesso le braccia.

Quando le cigne furono ben appostate, Kemmler disse:

— Guardiano, non abbiate fretta, mettetevi il tempo necessario, e badate bene che tutto sia pronto.

Allora il guardiano mise la mano sulla testa di Kemmler e la appoggiò contro la lista di rame che guerniva il dossale della seggiola.

Kemmler disse ad alta voce:

— Va bene; auguro a tutti buona fortuna.

Il guardiano Durston prese le cigne che dovevano tener fissa la testa di Kemmler.

Durante l'operazione il dottore Spitzka disse:

— Dio vi benedica, Kemmler.

— Grazie, rispose il condannato.

Il coraggio di Kemmler era meraviglioso.

Era calmo sulla seggiola come prima di entrare nella stanza.

Il giudice che presiedeva all'operazione ordinò di stabilire la corrente.

L'ordine fu eseguito. Il corpo sussultò fortemente e gli arti si contrassero; i muscoli del viso esprimevano la sofferenza, ma non si intese un grido.

Dopo che la corrente elettrica passò per diciassette secondi, fu interrotta ed i medici si avvicinarono al giustiziato.

trice. Quelle due macchine ricevevano il movimento da una trasmissione a cigne dipendente da una macchina a vapore di 45 cavalli, forza superiore d'assai ai bisogni della funebre applicazione. Quella macchina a vapore era piantata al secondo piano della prigione a trecento metri dalla seggiola fatale. I fili della dinamo a correnti alternative mettevano capo ad un quadro di comando sul quale erano disposti due voltametri di Cardew colle loro resistenze addizionali, ed una ventina di lampade Edison da cento volts, montate in tensione ed in derivazione sui serrafili polari della macchina, quindi, allorchè avevano raggiunto il loro splendore normale, indicavano che fra i due punti ove erano collocate le lampade esisteva una differenza efficace di mille volts. — Nella parte inferiore del quadro, ed intercalato nel circuito generale, eravi un amperimetro Bergam che doveva far conoscere l' intensità della corrente che attraversava il corpo del condannato, ma che non fu consultato nel momento opportuno. Il quadro di comando era pur munito di due commutatori, l'uno destinato ad intercalare le lampade-testimoni in derivazione sulla macchina, l'altro detto il *commutatore fatale*, destinato a chiudere il circuito sulla seggiola.

La seggiola era munita di cigne destinate a legare il paziente. La corrente della macchina arrivava sulla sommità del cranio e per la spina dorsale, mediante due elettrodi in forma di coppella contenenti una spugna umida nella quale venivano a perdersi le estremità denudate del cordone conduttore.

Fu su questo apparecchio che il condannato Kemmler venne fatto sedere, e nella nota sopracitata si poterono leggere tutti i particolari della esecuzione. La questione di sapere in qual istante preciso, dopo la chiusura del circuito, Kemmler fosse effettivamente o sufficientemente insensibile per essere considerato come tale rimarrà sempre un mistero. Noi starem paghi a riprodurre le opinioni di alcuni testimonii o di persone tali da potersi formare un'opinione più o meno indipendente intorno a questo nuovo metodo di esecuzione del quale non si saprebbe a vero dire affermare nè il successo nè l'insuccesso.

Il dottore A. P. Southwik, il padre della legge relativa all'esecuzione elettrica dice:

« A proposito di quella esecuzione si è fatto uno sfoggio di sentimentalismo privo di senso comune. Io non penso che quella debba essere l'ultima elettro-esecuzione; essa sarà seguita da molte altre, poichè ha provato che l'idea è giusta, ed io considero la legge come una

— È morto, disse il dottore Spitzka.
— Sì, si è morto, ripetè il dottore Mac-Donald con sicurezza.
Gli altri astanti erano del medesimo parere; nessuno dubitava della morte di Kemmler.
— [illegible] dunque portar il cadavere all'ospitale, disse allora il dottore Spitzka.
Ma il dottore [illegible], che esaminava il corpo da vicino, fece osservare che dalla bocca sembrava uscire ancora un debole soffio.
— Si ristabilisca la corrente, gridò, Kemmler non è morto!
Ma la corrente non poteva essere immediatamente ristabilita. Allora si videro cose orribili. La schiuma colava dalle labbra di Kemmler, la bocca era contratta, fremente, il petto si sollevava [illegible]
Quando alla fine la corrente fu ristabilita si vide sollevarsi dal corpo un vapore bianco nel tempo stesso che [illegible] un odore spaventevole; il corpo bruciava. Si gridò di interrompere la corrente e la corrente fu interrotta.
Questa volta finalmente Kemmler era morto.

delle migliori. L'esecuzione fu un successo; Kemmler è morto senza soffrire affatto. »

Il deputato Coroner Jenkins, che fece l'autopsia, fece pure conoscere la sua opinione:

« Io considero l'esecuzione coll'elettricità di gran lunga preferibile all'impiccagione. Essa è più spicciativa e meno pericolosa. Assistetti a cinque o sei impiccagioni, ed in nessun caso la vittima fu considerata come morta in meno di otto o dieci minuti. »

Ecco ora l'opinione di Carlo R. Barnes, il quale era incaricato della dinamo che servì all'esecuzione:

« L'esecuzione di Kemmler è una vera sconfitta, ma avrebbe potuto essere fatta con buon esito se fossero state prese le precauzioni opportune. Incominciamo col dire che le dinamo erano piantate sul pavimento senza precauzioni speciali per fissarvele solidamente. A velocità normale la dinamo a correnti alternative vibrava fortemente e provava

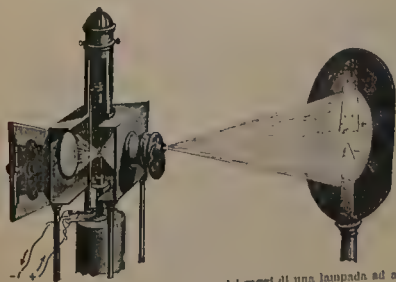



Fig. 355. – Projezione sopra uno schermo dei raggi di una lampada ad arco.

spostamenti di 12 a 25 millimetri. L'albero di trasmissione intermedio era montato sopra una impalcatura di legno semplicemente posata sul pavimento, senza un punto d'attacco per permettere alle puleggie di girare esattamente a tondo. Le cigne erano nuove, e non erano in servizio da un tempo sufficientemente lungo per aver ricevuto tutto il loro allungamento, di maniera che al momento in cui la corrente fu mandata per la prima volta, e si introdusse nel circuito la resistenza della seggiola e quella del corpo di Kemmler, la cigna fu sul punto di saltare dalla puleggia. »

Edison, interrogato, rispose:

« Nel 1887, io scrissi che mi associavo di tutto cuore al movimento che voleva abolita la pena capitale. Ma, io soggiungevo, dal momento che la si vuole conservare, noi dovremmo adottare il metodo più spedito e meno doloroso, ed allora indicavo una dinamo a correnti alternative come quella che avrebbe soddisfatto meglio di qualunque altra cosa alle condizioni stabilite. Io sono ancora di questo parere. Nell'esecuzione di Kemmler, se prestiam fede ai giornali, tutta la colpa è

dei medici. Essi procedettero secondo le indicazioni della teoria, e sapendo che la base del cranio è il centro nervoso del sistema umano, si studiarono di raggiungerlo il più direttamente possibile. In teoria avevano ragione, ma la pratica diè loro torto. In nessuno dei trenta casi di morte perfettamente istantanea prodotti dalla corrente elettrica in Nuova York e nei dintorni, la corrente fu applicata alla testa, essa arrivò sempre per le mani. In nessuno dei casi susseguiti da morte passò nel corpo della vittima una corrente di intensità eguale alla metà di quella che, a quanto si dice, passò pel corpo di Kemmler. L'elettricità attraversa i liquidi, e più specialmente i liquidi salati del corpo umano con maggiore facilità che le ossa. Le mani, ben pulite ed impregnate di soda caustica, formano un ottimo conduttore elettrico, a cagione della quantità di carne di cui sono piene, mentre le ossa sono conduttori mediocri. Collo stabilire i contatti sulle parti più grosse della scatola cranica, e sulla spina dorsale, i medici corsero volontariamente incontro ad uno scacco. Essi non potevano scegliere parti più sfavorevoli, attesochè i capelli sono pure cattivi conduttori ed offrono una resistenza notevole al passaggio della corrente. La pelle di Kemmler fu bruciata, e ciò indica che il suo corpo ricevette una parte relativamente debole della scarica. Se avesse ricevuto i 1300 volts durante il tempo indicato, sarebbe stato carbonizzato o mummificato... Per ciò che concerne i movimenti respiratorii prodottisi dopo la cessazione della corrente, io penso che la morte in quel momento era già avvenuta. È noto che movimenti muscolari analoghi manifestansi dopo l'impiccagione. Kemmler molto probabilmente fu ucciso sul colpo, a meno che sieno stati commessi gravi errori. Senza dubbio, tutti i testimonii di quella scena erano fortemente impressionati, ed al loro posto lo sarei stato ancor io. Opino per altro che il primo uomo che si assiderà sulla sedia fatale in avvenire, morrà istantaneamente. »

Secondo l'opinione di Paolo Cravath, consigliere della *Westinghouse Company*, l'insuccesso dell'esecuzione poteva essere preveduto da tutti quelli che si dedicarono a studiare accuratamente l'argomento:

« Un carnefice era sicuro del suo lavoro (*sic*) perchè le condizioni nelle quali quel lavoro era eseguito erano apparenti ed intelligibili tanto dal punto di vista scientifico quanto dal punto di vista meccanico. Coll'elettricità, per lo contrario, si doveva ricorrere ad una dinamo che produce una forza che non si sapeva comprendere nè controllare. Da quella dinamo partono due fili che si suppone trasmettano una corrente mortale. I mezzi di misurare quella corrente non sono sempre assolutamente sicuri, poichè costituiscono apparecchi che facilmente son messi fuori di servizio. Era dunque impossibile ai conduttori di una dinamo il conoscere esattamente quale effetto esatto poteva produrre una corrente elettrica così trasmessa sopra un oggetto che viene a contatto con essa » (1).

(1) Mentre si stampavano i primi fascicoli di questo libro, l'elettro-esecuzione fu nuovamente applicata il 7 luglio a quattro uomini condannati per assassinio.
L'elettro-esecuzione ebbe luogo in quel giorno dalle 4 alle 6 antimeridiane. James Slocum, assassino della moglie, salì per il primo e morì in un attimo senza dolore. Poi corse la medesima sorte Harry Smiler, reo d'aver assassinato l'amante. Venne quindi la volta di Jones Wood, un negro uccisore di un suo compagno. Tanto Smiler quanto Wood apparentemente morirono senza dolore.

Da queste diverse opinioni risulta che l'elettro-esecuzione ha bisogno di essere circondata da precauzioni speciali perchè si effettui nelle condizioni più opportune. È probabile che il giorno in cui funzionò per la prima volta la ghigliottina, la decapitazione abbia lasciato molto a desiderare... specialmente per parte del condannato.

L'energia elettrica che privò Kemmler della luce del giorno è essa stessa una sorgente di luce.

La luce elettrica si offre ai nostri sguardi sotto due forme distinte: *la luce per arco* e *la luce per incandescenza.*

La scoperta dell'*arco elettrico* data dal 1808. Humphry Davy (1) avendo chiuso il circuito di una pila di Volta di 2000 elementi con bastoncini di carbone tagliati a punta, vide scaturire, allontanando un po' quelle punte, una fiamma convessa di un chiarore abbagliante, alla quale impose il nome di *arco voltaico.*

Noi sappiamo, perchè Joule lo ha verificato, che un filo attraversato da una corrente si scalda tanto più quanto l'intensità della corrente e la resistenza al passaggio della corrente stessa sono più grandi.

La resistenza, nel fenomeno dell'*arco voltaico,* è causata dall'aria che si interpone fra le due punte dei bastoncini di carbone.

Le particelle incandescenti di quegli elettrodi di carbone vengono projettate, trasportate da un elettrodo all'altro e formano così una specie di catena mobile, più o meno conduttrice, che tiene luogo del circuito interrotto in quel punto. La corrente passa adunque lo stesso, ma la grande resistenza che le oppone l'aria determina il riscaldamento e l'incandescenza dei carboni.

Il trasporto delle particelle, quando si fa uso di correnti continue, si effettua in particolar modo dall'elettrodo positivo all'elettrodo negativo. Per un tempo determinato, il consumo del carbone positivo è doppio di quello dell'elettrodo negativo. « Fu questa differenza nel consumo e nella temperatura osservata nei primordii dai fisici che fece a prima giunta spiegare il fenomeno dell'arco luminoso come un semplice trasporto di particelle dal polo positivo al polo negativo. Oggi è dimostrato che se nell'arco predomina il trasporto dall'elettrodo positivo al negativo esiste pur anco un trasporto attivissimo dall'elettrodo negativo al positivo. »

Così Ippolito Fontaine nel suo *Eclairage à l'électricité.*

Projettando sopra uno schermo l'imagine di un arco (fig. 355) pro-

---

Finalmente subì la pena il marinajo giapponese Shibuya Jugino, esso pure uccisore di un compagno.

Tutti rimasero morti al primo contatto della corrente che aveva la forza di 3000 volts.

Tutti quelli che assistettero all'esecuzione la definiscono un successo e dichiarano che la fine dei pazienti deve essere stata senza dolore.

Un dispaccio posteriore del *Times* dice che le autopsie dimostrarono che la morte sopravvenne senza dolore e che bastò una sola scossa a determinarla. Nell'ultimo suo dispaccio il *Times* stesso è meno ottimista; eccolo nella sua integrità:

« Il dottore Daniels, uno dei testimoni dell'esecuzione, in un'intervista nel pomeriggio, disse che potrebbe narrare molte cose in proposito, se non fosse obbligato al silenzio. Soggiunse che la scena successa a Kemmler si riprodusse in tutte le esecuzioni, essendosi dovuto dare due scosse ad ogni condannato. La verità, disse il dottore Daniels, sarebbe una storia straziante. »

Speriamo che la luce si faccia, e presto, nell'interesse dell'umanità e della scienza.

Nota del Trad.

(1) Celebre chimico inglese (1778-1829) che scoprì il sodio ed il potassio.

dotto da correnti continue, si vede il bastoncino di carbone del polo positivo incavarsi e quello del polo negativo foggiarsi a punta smussata.

I bastoncini di carbone sono formati col carbone raccolto sulle pareti delle storte pel gas illuminante o di coke di petrolio polverizzato ed agglomerato col catrame di gas. Quella pasta, compressa in un torchio, esce da una trafila che le dà la forma cilindrica; forma che fece dare ai bastoncini così ottenuti il nome di « matite elettriche. »

Gli apparecchi che consentono di utilizzare quelle « matite » sono i *regolatori* e le *candele elettriche*.

I regolatori al giorno d'oggi impiegati riposano tutti sopra un medesimo principio: l'arco che fa parte del circuito elettrico non può cambiare di lunghezza, e per conseguenza di resistenza, senza modificare l'intensità della corrente; quando i carboni si consumano, la resistenza dell'arco diviene maggiore e l'intensità della corrente si fa più piccola. È codesta modificazione di intensità che viene usufruita per mantenere le punte dei carboni « matite » ad una distanza costante il più possibile. A tal uopo si introduce nel circuito un'elettrocalamita la cui armatura è sollecitata, da una parte, dall'azione magnetica, dall'altra da una molla. Quando la corrente diminuisce di intensità, diminuisce pure l'azione magnetica e l'armatura si move sotto l'azione preponderante della molla antagonista; si utilizza quel movimento dell'armatura per svincolare un congegno che riavvicina i portacarboni.

Fig. [illegible] — Regolatore elettrico Gaiffe

Tutti i regolatori debbono soddisfare le due indispensabili condizioni seguenti: 1.° allontanare dapprima i carboni per dare origine all'arco, ed in seguito ogni qual volta le punte vengono a toccarsi per effetto di una causa qualunque. Questo allontanamento si ottiene, sia per mezzo di un'elettro-calamita speciale, sia per virtù di un'elettro-calamita di avvicinamento; 2.° mantenere le

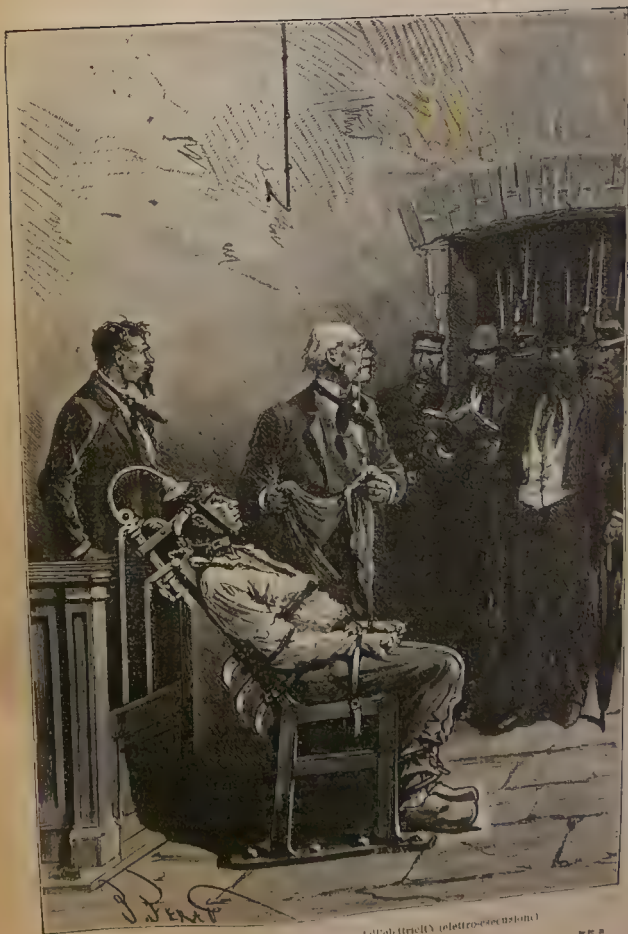



Fig. 357. — Esecuzione capitale per mezzo dell'elettricità (elettro-esecuzione)

Milano. — Tip. dello Stab. di E. Sonzogno. — Si pubblicano due dispense alla settimana. — Ogni dispensa Cent. 10.

punte ad una distanza ben regolare per tutta la durata dell' illuminazione. Tale regolazione è prodotta dall'intensità, dalla differenza di potenziale, ovvero dall'azione differenziale dell' intensità e della caduta del potenziale della corrente elettrica ai serrafili polari del regolatore.

La figura 356 rappresenta un *regolatore elettrico* ideato dal Gaiffe. Le « matite » sono fissate nei porta-carboni H ed H' ben equilibrati ed il cui peso entra per nulla nel funzionamento dell'apparecchio; il loro scorrimento è reso agevole per mezzo di un quadruplo sistema di girelle U, che impediscono qualsiasi attrito diretto. L'avanzarsi dei carboni è prodotto dalla distensione di una molla contenuta nel bariletto O, e per l'intermediario di due ruote di diametro disuguale $M\,M'$ e di due aste a dentiera K ed I, solidali dei porta-carboni $H\,H'$. L'asta di ferro dolce, sulla quale è assicurato il porta-carbone H', penetra, movendosi, più o meno in un rocchetto L circondato da un filo a spirale, ed è l'attrazione esercitata da quel rocchetto sull'asta di ferro dolce quando passa la corrente, quella che determina l'allontanamento dei porta-carboni, e per conseguenza delle « matite, » allontanamento necessario perchè si produca l'arco voltaico.

Il rocchetto e la molla del bariletto O sono disposti in guisa tale che le loro forze antagoniste rimangono nel medesimo rapporto durante la intiera corsa del porta-carboni; ne risulta che se l'arco, sul principio dell'illuminazione, ha la lunghezza generalmente adottata di tre millimetri, avrà ancora la medesima lunghezza quando, essendosi consumati i carboni, è vicino a spegnersi. Potendo la molla essere tesa più o meno, l'apparecchio può benissimo essere adattato ad intensità di corrente assai diverse.

Mercè un congegno speciale si può spostare il punto luminoso senza essere costretti a smorzare e senza niuna regolazione ulteriore dei porta-carboni nè dell'apparecchio. Quel congegno consiste in un sistema di rocchetti $R\,R'\,R''$, che in via ordinaria si trova respinto fuori delle ruote $M\,M'$, ma che venendo ad ingranare con quelle ruote, in seguito a leggiera pressione, permette di alzare o di abbassare simultaneamente per mezzo di una chiave i porta-carboni senza alterare per nulla la loro distanza. Si può così centrare agevolmente il punto luminoso, cosa indispensabile per le esperienze d'ottica e per le projezioni.

Il giuoco dell'apparecchio è il seguente; la corrente entra pel serrafilo P, segue le vie X, J, I, V, H, H', K, passa nel rocchetto L ed esce dal serrafilo N. Quando non circola, i due carboni sono mantenuti a contatto dall'azione della molla del bariletto O, ma non appena il circuito elettrico è chiuso, il rocchetto attrae l'asta K, il cui movimento, combinato con quello dell'altra asta I, determina l'allontanamento dei carboni e la produzione dell'arco voltaico. Fa sempre di mestieri che la forza attrattiva del rocchetto sia alquanto superiore all'azione della molla antagonista, il che si ottiene tendendo più o meno la molla stessa (1).

Le *candele elettriche* sono destinate ad utilizzare l'arco voltaico come i regolatori, ma i bastoncini di carbone in questo caso non sono più disposti punta contro punta; sono invece paralleli, combaciano ed agiscono senza bisogno del meccanismo dei regolatori.

---

(1) E. Hospitalier: *Le principali applicazioni dell'elettricità.*

L'invenzione delle candele è dovuta ad un ufficiale dell'esercito russo, Paolo Jablochkoff.

« La mia invenzione, diceva il Jablochkoff nella sua domanda di brevetto del 23 maggio 1876, consiste nella soppressione assoluta di qualunque congegno meccanico ordinariamente impiegato nelle lampade elettriche.

« In luogo di ottenere meccanicamente l' avvicinamento automatico dei carboni a misura che si consumano, io pianto quei carboni uno contro l'altro e li tengo separati con una sostanza isolante, suscettibile di consumarsi nel tempo stesso che si consumano i carboni, per esempio il caolino. »

Appena la corrente incomincia a passare, si forma l' arco elettrico fra le estremità dei carboni che ardono uno di fianco all'altro; e siccome la materia isolante si consuma nel medesimo tempo dei carboni, mantiene l'arco alle loro estremità. La pasta isolante, detta colombino, è una mescolanza di due parti di solfato di calce e di una parte di solfato di barite.

Fig 358. - Candela elettrica.

Perchè l'arco voltaico si manifesti, sul principio deve esistere contatto fra i due carboni. Quel contatto è stabilito da una piccola striscia *a* (fig. 358), formata di carbone polverizzato e di piombaggine agglutinati con acqua di gomma. Quella piccola striscia, che riunisce le estremità dei bastoncini di carbone *p n*, si scalda e si arroventa quando la corrente vi arriva e serve di esca all'arco voltaico.

Abbiamo detto che facendo uso di correnti continue il carbone positivo si consuma circa due volte più presto del carbone negativo. Per tale motivo nell'illuminazione colle candele elettriche si impiegano le correnti alternative, che producono il consumo uniforme dei due bastoncini.

Nel modo stesso che si è ideato un numero notevole di regolatori basati sopra un medesimo principio, nel modo stesso si idearono candele elettriche di diversi sistemi, che tutti si avvicinano più o meno alla candela tipo Jablochkoff. È dunque inutile arrestarci più a lungo sullo studio della *luce ad arco*. Passiamo alla *luce per incandescenza*.

Le *lampade elettriche ad incandescenza* hanno per principio comune di far attraversare da correnti continue od alternative una sostanza che opponga al passaggio della corrente resistenza bastante per essere scaldata al punto di diventare luminosa, e refrattaria quanto basta per non rimaner fusa. Allo scopo di sottrarre quella sostanza alla combustione la si chiude in un vaso di vetro nel quale fu praticato il vuoto.

Edison ha trovato quella sostanza, o per meglio dire l'ha trovata una seconda volta, poichè l'ingegnere francese de Changy, nel 1858, ed il conte de Moncel, nel 1859, si erano già serviti di fibre vegetali carbonizzate nei loro esperimenti di illuminazione per incandescenza. In

ogni caso spetta all' ingegnoso americano l'onore di aver tradotto in fatto, nel 1880, la prima lampada ad incandescenza veramente pratica.

La costruzione della *lampada ad incandescenza Edison* richiede un certo numero di operazioni delicatissime.

In un' ampolla di vetro *A* (fig. 359) si introduce un filamento di carbone *CC* a foggia di U capovolto, trattenuto da due piccole pinzette di rame SS, che sono collegate ai fili conduttori della corrente elettrica. Il filamento di carbone lo si ottiene dalle fibre di gambi di bambù del Giappone che si fanno carbonizzare.

Fig. 359.
Lampada ad incandescenza Edison.

Le canne di bambù, tagliate primieramente in lamine sottili e levigate, vengono collocate in una matrice metallica e tagliate secondo un modello determinato; le laminette son poi ridotte allo stato di filamento largo appena un millimetro e lungo 11 centimetri.

Per fare di quelle fibre di bambù altrettanti fili di carbone, si introducono, piegandole a foggia di U, entro forme piatte di nichel, che vengono accatastate a mucchi entro muffole (vasi di terra) a chiusura ermetica, portate al forno ed assoggettate ad un calore di breve durata. Da ogni forma, nella quale si erano introdotti due filamenti di bambù, si ritirano due fili di carbone. Si tratta ora di congiungere quei fili di bambù nei quali l'energia elettrica si deve trasformare in energia luminosa, ossia in luce, ai fili metallici che condurranno la corrente.

Quella congiunzione non si effettua direttamente, ma per l'intermediario di due fili di platino lunghi 0,02, saldati in *o o* ai fili di rame rosso *P P* e collocati preventivamente gli uni e gli altri in un tubo di vetro *T;* l'estremità superiore *L* di quel tubo, rammollita da un getto di fiamma di cannello, è lavorata in guisa da tener stretti i fili di platino che escono fuori, e da sopprimere il passaggio dell'aria per quella estremità *L* del tubo *T.*

Le porzioni libere dei fili di platino ricevono una forma piegata; ad ogni estremità si salda un picciol nastro di rame piegato sopra sè stesso S S nel quale si introducono le estremità del filamento di carbone; si stringono i piccoli nastri di rame che formano pinzetta e si assoggettano ad un bagno galvanico; quella galvanizzazione copre contemporaneamente di rame le estremità del filamento di carbone e stabilisce la buona conducibilità del sistema.

Il tubo *T*, che porta i fili ed il filamento, viene introdotto nell'ampolla *A* e saldato ad essa mediante il cannello.

Bisogna allora fare il vuoto nell' ampolla, la quale alla sommità *d* porta un tubetto di vetro che si fissa alla pompa pneumatica a mercurio di Sprengel, descritta a pagina 328. Una disposizione ingegnosa permette di vuotare d'aria, in una sola operazione, cinquecento ampolle.

Verso la fine dell'operazione, si manda nei fili una leggiera corrente elettrica che purga il filamento di carbone dall'umidità e dai gas che può ancora contenere. Fatto che sia il vuoto, un getto di fiamma del cannello fonde il tubo di vetro *d* e chiude ermeticamente l'ampolla.

La lampada così confezionata viene fissata per la sua base con gesso in un manicotto *M* di rame tagliato a vite in guisa che lo si possa avvitare alla canna *D*.

Uno dei fili di rame *P'* si curva all'uscita dal tubo, attraversa il gesso che empiè la cavità del manicotto *M* e va a saldarsi al lembo esterno del manicotto in *f'*. L'altro filo *P* è saldato in *f* ad una rotella di rame *Z*.

Quando si congiunge a vite il manicotto *M* alla canna *D D*, il contatto si stabilisce nel modo seguente: una lamina di rame curvata *b*, che si appoggia contro la rotella *Z*, porta, assicurato colla vite *i*, uno dei fili metallici che conduce l'elettricità; l'altro filo è assicurato colla vite *i'* alla seconda lamina *b'*; quelle due lamine sono separate da una piastra di materia isolante *H*.

La canna alla sua estremità *E* porta un passo di vite che le permette di adattarsi ai bracci dei candelabri, dei lampadarii, che contengono i fili conduttori.

Fig. 360.
Robinetto aperto: la corrente passa

Fig. 361
Robinetto chiuso: la corrente non passa

La corrente, condotta alla lamina *b*, attraversa la rotella *Z*, passa nel filo *P*, nel filamento di carbone *C C*, nel secondo filo *P'* ed arriva al manicotto di rame in *f'*, discende lungo il manicotto, poi lungo la canna sino in *i''*, ove ritrova il filo di ritorno.

L'accendimento e lo spegnimento della lampada si effettua per mezzo di un congegno semplicissimo, cioè coll'aprire o col chiudere un robinetto. Aprendo il robinetto *R* (fig. 360), le due sbarre della molla di rame *ll'*, si sbandano e vanno a toccare le viti *r* e *r'*; i fili conduttori sono stati tagliati in quel punto, alla vite *r'* è assicurata la porzione di filo proveniente dalla sorgente di elettricità; alla vite *r* è attaccata la porzione di filo che si porta alla lampada.

Se il robinetto è aperto, come nel caso della figura 360, le due porzioni dei fili *F F* sono messe a contatto per virtù delle lamine della molla, la corrente passa, e la lampada si accende. Se il robinetto è chiuso (fig. 361) la corrente non può passare.

Questo sistema, generalmente fissato contro le pareti e più o meno lontano dalle lampade, è impiegato per le lampade da lampadario e da bracciali. Le lampade mobili, quelle che si ponno spostare sopra uno scrittojo, portano nel centro stesso delle loro canne un sistema analogo. La lamina *b* (fig. 359) è allora separata in due metà e la cor-

rente passa soltanto quando il robinetto aprendosi spinge un'asta munita di una molla a spirale che viene a stabilire il contatto fra le due metà della lamina.

Ci siamo estesi a sufficienza intorno alla descrizione della *lampada ad incandescenza Edison* per trattenerci a descrivere le altre numerosissime lampade del medesimo genere usate in ispecial modo in America ed in Inghilterra, come sarebbero per tacere d'altre, le Swan, le Maxim, le Lane-Fox, ecc.

Le *lampade ad incandescenza* presentavano già un vantaggio notevole pel fatto che ardono per lo meno cento ore prima che il filamento sia consumato, mentre nelle *lampade ad arco* fa mestieri rinnovare costantemente le matite, tuttavia si lamentava la loro intensità luminosa relativamente debole. Ora si è pervenuti a fabbricare lampade da 500, 800 e 1000 candele. Egli è certo che l'illuminazione ad incandescenza potrà d'ora innanzi sostituirsi all' illuminazione ad arco in molte circostanze nelle quali era ritenuta inapplicabile. Sino alle 800 candele il globo di vetro non contiene che un solo filamento di carbone incandescente, per 1000 candele nel globo ce ne son due e disposti parallelamente. Tutti conoscono le dimensioni delle lampade ad incandescenza da 16 candele; le lampade da 1000 candele hanno un diametro circa quadruplo; la luce scaturisce nel mezzo di un globo allungato grande come i globi delle solite lucerne Carcel. Il consumo è un po' minore relativamente a quello delle piccole lampade. Esse possono funzionare almeno 800 ore, semprechè non si spinga lo splendore agli estremi. I tipi da 1000 candele assorbono 100 volts e 20 ampères.

L'illuminazione elettrica ha dinanzi a sè uno sviluppo notevolissimo. Tutte le grandi città della Francia tendono ad adottarla ed anche le piccole. Un capoluogo di circondario della Creuse, Bourganeuf, città di 4000 abitanti, possiede un impianto celebre, che costituisce la prima applicazione veramente pratica del sistema di Marcello Deprez sul trasporto dell'energia a distanza.

Sino dal 1887 Bourganeuf era provveduta di un' illuminazione elettrica. La forza necessaria era prodotta da una caduta d'acqua situata nella città stessa; malauguratamente quella caduta era al secco per tre mesi dell'anno ed il soccorso di una macchina a vapore diveniva allora indispensabile.

Il municipio di Bourganeuf, avendo inteso parlare degli esperimenti del Deprez, pensò allora di usufruire la cascata dei Jarrauds situata a Saint-Martin-le-Château, a 15 chilometri da Bourganeuf. La cascata in discorso può fornire nei momenti di massima magra più di *mille* cavalli-vapore, tuttavia per incominciare non si ricorse che ad una dinamo a due anelli (sistema Deprez) della forza di 100 cavalli. Una macchina identica fu piantata a Bourganeuf, e le due macchine furono collegate con un semplice filo di rame di 5 millimetri di diametro teso su pali di abete, con cura non maggiore che i fili telegrafici ordinarii.

La macchina di Bourganeuf, situata a 15 chilometri dalla cascata di acqua, è messa in moto dalla corrente che parte da Saint-Martin con una tensione di 300 volts; a sua volta e mediante una semplice cigna, essa comunica il movimento alle macchine a bassa tensione che producono la corrente necessaria alla illuminazione della città. E tutto finisce qui! Ma quanti problemi fu giuocoforza risolvere per rendere

pratico quel meccanismo, quante pene, quante emozioni quando si vedeva la velocità della ricevitrice di Bourganeuf rallentare senza motivo conosciuto! Fu mestieri istruire un personale speciale, ora ridotto a due impiegati: uno a Saint-Martin, l'altro a Bourganeuf; fu mestieri ideare un codice di segnali ad un tempo semplice e completo, per permettere all'impiegato di Bourganeuf di dare rapidamente e con chiarezza tutti gli ordini necessarii all'impiegato soprintendente della stazione della generatrice. Ora l'illuminazione funziona senza interruzione cinque ore per notte.

Un' altra città più piccola ha applicato il principio degli accumulatori. Essa è la città di Saint-Hilaire-du-Harcouët, nella Manica. Due volte quella città aveva tentato di illuminarsi a gas, ma senza riuscirvi. Un piccolo ruscello, il Vauroux, riempie tre stagni situati a livelli un po' diversi. Un impianto idraulico era stato fatto altra volta per una officina; mediante alcune piccole riparazioni lo si fece servire per animare una dinamo da 800 giri al minuto.

Gli accumulatori sono divisi in tre stazioni in numero di 35 per ciascuna. Essi impiegano dieci ore al giorno a caricarsi e mandano poi la corrente a lampade ad incandescenza.

Finalmente, un villaggio di 645 abitanti, il villaggio di Collias (Gard) nel mese di settembre 1890 si permise il lusso dell'illuminazione elettrica.

L'impianto è molto ben concepito. La forza motrice è data da una cascata d'acqua di metri 1,20 con una portata di 1000 litri per secondo e produce un lavoro di 9 cavalli effettivi.

Quella cascata anima una dinamo capace di alimentare 1600 candele. Le contrade sono illuminate da 25 lampade da 16 candele ognuna.

La turbina che anima la dinamo sino alle undici di notte serve anche ad un altro uso; durante il giorno mette in azione pompe elevatorie che conducono l'acqua a Collias.

Gli esempii che abbiamo citato del trasporto dell'energia a distanza, presentano un interesse grandissimo quando si pensa all'epoca nella quale mancherà il combustibile (1); infatti essi dimostrano che noi incominciamo a saper usufruire l'energia fornita continuamente dalla natura; provano che il vapore, la cui onnipotenza è subordinata alla esistenza delle miniere di carbon fossile, è sulla via di cedere il posto all'energia elettrica; ed attestano che, il giorno in cui il fumo dell'ultimo pezzo di carbone del globo terrestre si sperderà nell'aria, altre sorgenti di energia più poderose, più economiche e delle quali non si dovrà mai temere la scomparsa, saranno a disposizione dell'uomo.

Dopo aver veduto i grandiosi effetti delle *correnti alternative* noi dobbiamo menzionare un'ultima proprietà di quelle correnti, proprietà destinata senza dubbio a dare risultati pratici in un prossimo avvenire: *i motori a correnti alternative*.

Il professore Elihu Thomson, di Lynn (Stato del Massachussets) osservò nel 1884, all'Istituto di Washington, che un'elettro-calamita ec-

---

(1) Price Williams assegna alle ricchezze carbonifere ancora nascoste nel suolo dell'Inghilterra una durata di 103 anni.

citata da una *corrente alternativa e periodica* respingeva un anello, un disco di rame, un tubo, ecc., opportunamente collocati nel suo campo.

Quelle esperienze diedero molto da pensare ai visitatori dell'Esposizione del 1889, poco abituati, per la massima parte, alle azioni a distanza, vale a dire esercitantisi senza un intermediario visibile. Il riscaldamento intenso degli oggetti respinti era per essi un'altra causa di stupore.

L'elettro-calamita impiegata non era guari diversa da quelle che abbiamo descritto. Era piantata verticalmente sopra un sostegno (fig. 362), il suo nucleo era formato da un grosso fascio di fili di ferro isolati gli uni dagli altri. Il filo di rame attortigliato intorno a quel nucleo era lunghissimo, le sue estremità mettevan capo ai serrafili del sostegno, collegati d'altra parte alle estremità del circuito esterno che conduceva

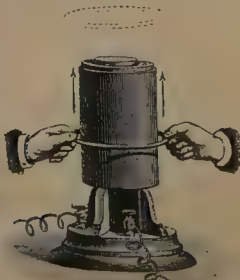



Fig. 362. — Esperimenti di Elihu Thomson.
Ripulsione esercitata da una corrente alternativa sopra un anello metallico.

la corrente di una poderosa dinamo a correnti alternative. Un tubo di cartone infilato sull'elettro ne nascondeva il filo

Preparato così le cose, se si abbandona a sè stesso un anello circondante l'elettro esso viene violentemente lanciato in aria come indica la punteggiatura della figura 362.

Formando l'anello con un gran numero di spire nel circuito delle quali è intercalata una lampada ad incandescenza (fig. 363), le correnti indotte nell'anello fanno brillare la lampada di splendore vivissimo, ma se l'anello è libero di moversi viene respinto, ed allora le correnti indotte si indeboliscono rapidamente e la lampada cessa ben presto dal brillare. Per addolcire, per regolarizzare quel movimento di ripulsione, l'anello e la lampada sono immersi nell'acqua di un vaso.

Per cambiare il movimento di traslazione in un movimento di rotazione, è necessario un artificio, fa d'uopo produrre una dissimetria nel campo della elettro. Vi si perviene facilmente. Ricordiamoci che un tubo di rame introdotto fra i due circuiti di un rocchetto di induzione ne diminuisce sensibilmente gli effetti e forma schermo. Dunque se si

copre una porzione della superficie superiore della elettro-calamita con una lamina di rame, le linee di forza che emanano da quella elettro saranno in gran parte intercettate, e il campo diverrà dissimetrico rispetto alla elettro-calamita, poichè nella parte scoperta le linee di forza si dirigeranno liberamente e nell'altra no. La ripulsione si eserciterà allora sopra una sola metà di un disco, di una sfera di rame, ecc., posti di faccia alla superficie della elettro. Si comprende che allora quegli oggetti si metteranno a girare. Nella elettro della figura 365, la lamina di rame schermo è nascosta sotto uno strato di cotone nero che copre tutta la parte superiore della elettro.

Nella figura 364 si osserva la rotazione di un disco di rame pro-

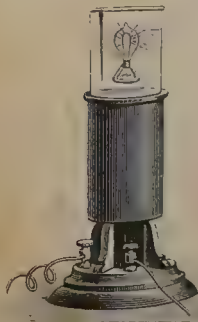



Fig. 363.
Incandescenza di una lampada prodotta da una corrente alternativa.

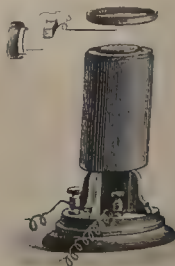



Fig. 364.
Rotazione di un disco metallico sotto l'azione di una corrente alternativa.

dotta in quel modo; il disco riposa per una leggiera cavità sopra una punta piegata ad angolo retto della quale l'operatore tiene in mano l'impugnatura.

La rotazione di una sfera cava di rame (fig. 365) si spiega nella medesima guisa. Essa segue gli orli del vaso, l'acqua che quello contiene serve di regolatore al movimento, essa impedisce pure che la palla si scaldi troppo fortemente sotto l'azione delle correnti indotte che la solcano. È ovvio il comprendere che quei fenomeni si spiegano mediante le leggi che abbiamo già formulate e che non è necessario ideare una nuova teoria come certi credettero.

Quella ripulsione si esercita fra le correnti alternative induttrici e le correnti alternative indotte.

Tuttavia sono necessarii alcuni schiarimenti.

Come si può rappresentare l'andamento di una corrente alternativa? Come dipingerlo ai nostri occhi?

Nella maniera stessa che ci servì per rappresentare una vibrazione (fig. 18 pag. 21). Sopra una linea retta abbiamo portato il tempo e sopra una linea perpendicolare lo scarto del punto, contato partendo dalla sua

posizione di equilibrio verso l'alto se il punto è a destra di quella posizione, verso il basso se a sinistra. Nel caso in discussione porteremo egualmente il tempo sull'asse $O\,T$ (fig. 366), ma in luogo degli scarti, porteremo parallelamente sull' asse $O\,I$ le intensità delle correnti, la loro grandezza ad ogni istante, e le porteremo verso l'alto se la corrente circola in un certo senso, verso il basso se circola in senso contrario. Il senso della corrente surroga qui la deviazione o scarto del punto vibrante dalla sua posizione di equilibrio. A quella posizione di equilibrio corrisponde il caso in cui la corrente è nulla, vale a dire gli istanti in cui cambia di senso. E siccome questo caso è periodico la curva che lo rappresenta per un periodo si riproduce indefinitamente.

Sia T la durata del periodo della corrente. Al tempo zero l'intensità è nulla. Ad un certo istante $om = t$ essa ha un'intensità rappresentata dalla lunghezza della linea $M\,m$; questa intensità cresce durante un tempo $\frac{T}{4}$, (un quarto del periodo); il suo valore più grande è rappresentato dalla linea $A\,a$; d'allora in poi diminuisce sino a zero conservando il senso della prima freccia. Si è allora in B ed il tempo trascorso è $\frac{T}{2}$, la metà del periodo. Nel semi-periodo successivo si riproducono i medesimi fatti, ma la corrente circolando in senso contrario nel filo dell'elettro-calamita, senso indicato dalla freccia, l'intensità di quella corrente negli istanti successivi è rappresentata da linee portate al di sotto di $O\,T$ parallelamente ad $O\,I$, il che dà la curva $B\,C\,D$. Il periodo è allora terminato e si riproduce senza alterazione.

Ora, secondo le leggi dell'induzione, come si produce la corrente indotta nell'anello? Come si potrà rappresentarla adottando le convenzioni precedenti?

Prima di tutto è chiaro che essa avrà il medesimo periodo della corrente induttrice.

Accompagniamo il fenomeno nelle sue fasi successive: quando il punto che rappresenta la corrente induttrice segue la curva $O\,A$, cammina nel senso della prima freccia e cresce, per conseguenza, in virtù della legge di Lenz, la corrente indotta camminerà in senso contrario ed inoltre diminuirà costantemente.

Da A a B, diminuendo la corrente induttrice, la corrente indotta cambia di senso e diminuisce.

Da B a C la corrente indotta conserva il suo senso; quantunque quello della corrente induttrice cambii, poichè da B in C, quello cresce.

In conclusione, se la corrente induttrice è rappresentata dalla curva $O\,A\,B\,C\,D$... la corrente indotta corrispondente è alternativa ed è anch'essa rappresentata dalla curva $O'\,A'\,B'\,C'\,D'$, ecc.

Ora, secondo le leggi di Ampère, due correnti parallele e del medesimo senso si attraggono, e due correnti di senso contrario si respingono.

Vi ha dunque ripulsione fra le correnti $O\,A$ ed $O'\,A'$, $B\,C$ e $B'\,C'$ che sono di senso contrario, per converso vi ha attrazione fra le correnti del medesimo senso $A\,B$ $A'\,B'$; $C\,D$ $C'\,D'$... ecc.

Ora il periodo della corrente alternativa è brevissimo ed ogni periodo

comprende due ripulsioni e due attrazioni eguali, ogni ripulsione è susseguita da un'attrazione.

Se dunque tutto avvenisse rigorosamente secondo le idee teoretiche sulle quali ci siamo basati, l'elettro-calamita alternativa non eserciterebbe alcuna influenza sull'anello e quello non sarebbe respinto.

Ma vi ha nel fenomeno un elemento del quale non tenemmo calcolo e che modifica profondamente le nostre conclusioni. Ed è questo; che la corrente indotta presenta all'induzione una specie di inerzia, essa non accompagna in modo assoluto le variazioni della corrente induttrice. Perciò la corrente indotta non assume un valore nullo nell'istante preciso in cui la corrente induttrice passa pel suo valore massimo, ma solo un istante dopo.

È dunque necessario di far scorrere verso destra la curva della corrente indotta se si vuole che le due curve della figura corrispondano alla realtà.

Ma allora le ripulsioni, che erano eguali alle attrazioni, divengono di molto superiori a queste, e da ciò proviene il movimento osservato. Sul disegno furono tratteggiate le porzioni di corrente che danno luogo ad attrazioni.

Si esprime il fatto del ritardo presentato dalla corrente indotta sulla corrente induttrice dicendo che esse presentano una *differenza di fase* la cui grandezza dipende evidentemente dalla costruzione dell'induttore e dell'indotto.

Questa differenza di fase interviene in un gran numero di questioni d'elettricità.

Nel 1880 de Fonvielle e Lontin avevano già fatto girare dischi di ferro dolce nel campo di un'elettro-calamita resa dissimmetrica nel sito ove è il disco per mezzo di calamite opportunamente collocate.

Le esperienze di Elihu Thomson aprono all'intelletto nuovi orizzonti; esse sembrano già accennare a qualche relazione, ancora ben misteriosa, fra i fenomeni elettrici e l'attrazione universale. Fu per questo che Zenger, che ha cercato la relazione fra le leggi elettro-dinamiche ed il movimento dei pianeti, potè dire (1): « La forza laterale (pressione esercitata sopra uno dei lati della sfera) può servire per spiegare la natura e la provenienza della forza tangenziale di cui Newton ebbe d'uopo per spiegare il movimento orbitale dei pianeti; si può supporre che le linee di forza del Sole (considerato come un'elettro-calamita poderosissima ed avente i suoi due poli ad una distanza molto piccola l'uno dall'altro, rispetto alla distanza del globo planetario) sieno sensibilmente parallele. Si arriva allora a comprendere il modo d'azione a distanza dell'attrazione universale, che nello stato attuale della scienza presenta tante difficoltà. »

Abbiamo veduto come le correnti alternative e le correnti continue intense fossero impiegate alla trasmissione dell'energia elettrica a distanza ed all'illuminazione elettrica; d'altra parte abbiamo già studiato nella TELEFONIA l'uso delle *correnti poco intense*.

Ci rimane da menzionare un'ultima applicazione di queste correnti

(1) Accademia delle Scienze, seduta del 2 settembre 1889, memoria di Carlo Zenger.

che sembrano riservate (1) alla trasmissione del pensiero umano a distanza: col TELEFONO esse trasmettono la parola; col TELEGRAFO trasmettono lo scritto.

La telegrafia possiede numerosi apparecchi le cui disposizioni sono estremamente svariate, ma il cui impianto generale rimane il medesimo; perciò ci limiteremo a menzionare quelli che sono oggidì più usitati.

Fig. 305. — Rotazione di una sfera metallica prodotta da una corrente alternativa.

Qualsiasi TELEGRAFO ELETTRICO comprende la pila (2) che genera la corrente; il *filo di linea* (3) che trasmette la corrente da una stazione

(1) Sono stati fatti parecchi esperimenti per surrogare le pile con macchine dinamo sole o combinate con accumulatori. Nel 1888, la Postal Telegraph Cable Company, di Nuova York, ha surrogato 10000 coppie di pile Callaud con 16 dinamo Edison di un tipo speciale. A Londra l'Exchange Telegraph Company impiantò un motore animato dall'acqua sotto pressione, per mettere in movimento una dinamo che carica gli accumulatori.

(2) Libro I, cap. IV.

(3) Il filo di linea è un filo di ferro galvanizzato di quattro millimetri di diametro, isolato mediante sostegni o cappelletti di porcellana fissati a pali d'abete. Se la linea è sotterranea, il filo è coperto da un intonaco isolante di guttaperca o di bitume; se è sottomarina, si impiega un fascio di fili di rame attorcigliati insieme e circondati da un intonaco formato di guttaperca, di segature di legno, di resina e di catrame; su quell'intonaco sono applicati uno strato di funicelle incatramate ed un rivestimento di fili d'acciaio coperti di canapa incatramata.

Che poi la linea sia aerea, sotterranea o sottomarina, alla stazione di partenza si attacca a polo negativo della linea un filo di rame terminato da una piastra di rame che si immerge

all'altra; il *manipolatore*, il quale, regolando le intermittenze della corrente alla stazione di partenza, manda il dispaccio; il *ricevitore*, che riceve, che registra il dispaccio alla stazione di arrivo.

Per spiegare il principio del telegrafo, abbiamo scelto per primo l'apparecchio di Morse, perchè adottato dall'Amministrazione dei telegrafi francesi, dai diversi Stati d'Europa, dalla maggioranza delle Società americane, ed anche perchè l'americano Samuele Morse è l'inventore del primo telegrafo elettrico pratico del quale trovò il principio il 19 ottobre 1832 a bordo del piroscafo il *Sully*, che lo riconduceva da Havre a Nuova York.

Il telegrafo Morse fu messo in opera la prima volta nel 1844, sulla linea da Washington a Baltimora, e dopo quell'epoca ha ricevuto numerosi miglioramenti.

Il *ricevitore* consta di una ruota R (fig. 367) sulla quale è avvolto

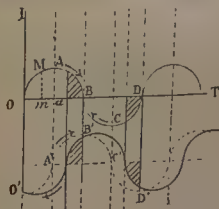



Fig. 366. — Rappresentazione della ripulsione esercitata da una corrente alternativa induttrice sopra una corrente alternativa indotta.

un lungo nastro di carta P; quel nastro è afferrato come in un laminatojo e trascinato da due cilindri c e g, che un movimento di orologeria chiuso in una cassetta e che si rimonta con una chiave b, fa camminare. Un congegno D permette di arrestare quel movimento. A destra della cassetta si trova un'elettro-calamita E, nella quale passa la corrente che arriva dalla stazione di partenza.

Al disopra dell'elettro-calamita vi è un'armatura di ferro dolce congiunta ad un braccio di leva L, la cui estremità di destra può oscillare fra le due viti di richiamo C e C'; l'estremità di sinistra termina con una punta piegata ad m.

Sopra il nastro di carta vi è uno stoppaccio T, coperto di flanella inzuppata di inchiostro oleoso, che si appoggia sopra una molla di rame; questa, al contatto collo stoppaccio, piglia l'inchiostro che poi cede alla carta mentre passa.

La colonna B è vuota e contiene una lunga vite che si fa girare per

nell'acqua di un pozzo; il polo positivo comunica col filo della linea che alla stazione d'arrivo termina anch'essa con una piastra di rame immersa in un pozzo. In questo modo le estremità del filo sono mantenute al potenziale zero che è, per definizione, il potenziale della terra. La circolazione si stabilisce come se il circuito fosse chiuso da un secondo filo. La terra sostituisce adunque con economia il filo di ritorno.

mezzo di un bottone superiore e che offre il mezzo di alzare e di abbassare l'elettro-calamita, in guisa da variare la sua distanza dall'armatura a norma dell'intensità della corrente.

Quando la stazione mittente non manda dispacci; ovvero sia, sino a tanto che nell'elettro-calamita non passa corrente, il braccio della leva *L* rimane abbassato dalla tensione di una molla e non vi può essere contatto fra la molla di rame ed il nastro cartaceo. Ma appena si spedisce un dispaccio, appena la corrente arriva, l'elettro-calamita attrae la sua armatura di ferro dolce, e per conseguenza l'estremità destra della leva *L*; l'estremità sinistra è dunque sollevata e la punta *m* spinge la carta contro la mollotta; durante quel contatto, che dipende dalla durata della corrente, la molletta spalmata di inchiostro lascia traccie sul nastro di carta che continua a svolgersi. Se la corrente non dura che un breve istante, la mollotta ha appena il tempo di imprimere un punto; se la corrente dura di più, la molletta imprime una linea.

Se alla stazione di partenza si fa passare la corrente per una durata più o meno lunga, si possono dunque produrre alla stazione d'arrivo punti, linee, e quelle combinazioni di punti e di linee permisero a Morse di stabilire il vocabolario seguente:

LETTERE.

a	· —
ä	· — · —
à	· — — · —
b	— · · ·
c	— · — ·
d	— · ·
e	·
é	· · — · ·
f	· · — ·
g	— — ·
h	· · · ·
i	· ·
j	· — — —
k	— · —
l	· — · ·
m	— —
n	— ·
ñ	— — · — —
o	— — —
ö	— — — ·
p	· — — ·
q	— — · —
r	· — ·
s	· · ·
t	—
u	· · —
ü	· · — —
v	· · · —
x	— · · —
y	— · — —
z	— — · ·
w	· — —
ch	— — — —

CIFRE.

1	· — — — —
2	· · — — —
3	· · · — —
4	· · · · —
5	· · · · ·
6	— · · · ·
7	— — · · ·
8	— — — · ·
9	— — — — ·
0	— — — — —

Il manipolatore o chiave Morse serve a stabilire o ad interrompere il passaggio della corrente; è una leva *L* (fig. 368) mantenuta sollevata da una molla, ma che si può abbassare premendo sul tasto *m*.

Per mandare un dispaccio si preme in m; l'estremità della leva si abbassa e la punta della vite V viene a contatto col bottone C. La corrente, prodotta dalle pile, arriva pel filo C', passa nella leva, discende per E e va a guadagnare il filo di linea attaccato al serrafilo B.

Una rapida pressione del dito in m trasmette un punto al ricevitore; pressioni più o meno lunghe e date ad intervalli lasciano passare correnti di durata disuguale, e trasmettono perciò i segni del vocabolario Morse.

Il *campanello elettrico*, del quale abbiamo spiegato il principio (pag. 304), serve ad avvisare il posto ricevitore che gli si spedisce un dispaccio.

Quando le due stazioni sono molto discoste l'una dall'altra, può avvenire che la corrente arrivi al ricevitore con una intensità troppo debole per farne funzionare il meccanismo. In questo caso si ricorre ad un apparecchio chiamato *soccorritore (relais)*, il quale ha per iscopo di introdurre nel ricevitore la corrente di una pila situata nella stazione ricevitrice; il soccorritore trasmette fedelmente al ricevitore e colla forza necessaria tutte le indicazioni inviategli dal manipolatore.

Il *telegrafo stampatore* di Hughes divide, insieme al *telegrafo scrivente* di Morse, il privilegio di servire alle trasmissioni telegrafiche del mondo intiero.

Il telegrafo stampatore fu trovato nel 1855 da quel Hughes, che venti anni più tardi inventava il microfono, e che cercando il congegno del suo telegrafo, ossia la tastiera co' suoi tasti bianchi e neri, rammentava senza dubbio di essere stato un dì professore di pianoforte al collegio di Bordstorn, nello Stato di Kentucky.

Il principio del telegrafo Hughes è semplicissimo, ma per converso il meccanismo è complicatissimo.

Alla stazione di partenza ed a quella d'arrivo sono piantati certi congegni d'orologeria che devono camminare d'accordo con sincronismo perfetto, in guisa da regolare l'azione simultanea del manipolatore e del ricevitore.

Il manipolatore (fig. 369) è una tastiera analoga a quella del pianoforte; comprende ventotto tasti segnati colle lettere dell'alfabeto, con cifre e segni di interpunzione. Premendo sui tasti il mittente manda le lettere che compongono il dispaccio.

Il ricevitore (ricevitore e manipolatore sono, in ogni stazione, disposti sopra un medesimo tavolo, come mostra la figura 369) ha per parte essenziale una ruota R, chiamata *ruota dei tipi*, sul contorno della quale sono scolpite in rilievo le lettere dell'alfabeto, le cifre ed i segni di interpunzione. Essa gira fra il cuscinetto T carico di inchiostro ed il rullo I dal quale si svolge il nastro di carta P. Sopra un disco orizzontale D corre un carretto il quale descrive un'intiera circonferenza precisamente nel tempo che la ruota dei tipi effettua una rotazione completa. Quel disco D porta tanti fori quanti sono i tasti della tastiera e le lettere sul contorno della ruota dei tipi. Il congegno d'orologeria, che viene messo in azione da un peso motore A, è regolato con tale precisione, che nell'istante che il carretto passa sul foro corrispondente ad un tasto, sulla ruota dei tipi, e precisamente dirimpetto al nastro cartaceo, si trova la lettera indicata da quel tasto. L'elettro-calamita

b, animata ogni volta che una corrente è lanciata nel filo della linea, fa allora sollevare il rullo *I* e la lettera viene stampata sulla carta.

I ricevitori dei telegrafi sottomarini differiscono da quelli che abbiamo descritto, attesochè la corrente arriva alla stazione destinataria estremamente debole, e fa mestieri impiegare come ricevitore un istrumento assai sensibile. In questo caso si ricorre al *galvanometro a riflessione* di Thomson (fig. 370) che in massima soddisfa a tutte le esigenze. Le deviazioni dello specchio riflettono un punto luminoso

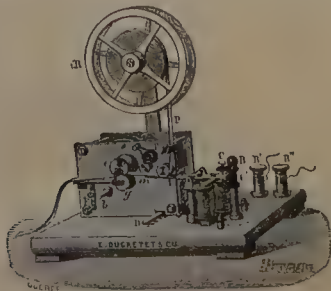



Fig. 367. — Telegrafo Morse: il ricevitore.

sopra divisioni tracciate su di uno schermo; le deviazioni a sinistra indicano i punti dell'alfabeto Morse, quelle a destra le linee.

Per soddisfare ai bisogni sempre maggiori del pubblico si è studiato di accrescere ancor più la rapidità delle corrispondenze telegrafiche vale a dire la *portata delle linee*.

Fig. 368. — Telegrafo Morse: il manipolatore.

A ciò si è pervenuti in diverse maniere.

1.° Sostituendo all'impiegato che manda i segnali un *trasmissore automatico* che opera molto più presto senza stancarsi mai;

2.° Montando i trasmissori ed i ricevitori, qualunque ne sia il tipo, in *multiplex*, vale a dire in guisa tale che le due stazioni possano comunicare simultaneamente, trasportando il filo della linea parecchi dispacci nel medesimo tempo;

3.° Concedendo la linea per tempi successivi brevissimi e vicinis-

simi a parecchi impiegati. Mentre uno di essi trasmette i suoi segnali, gli altri hanno il tempo di preparare i proprii, di maniera che la linea non è mai oziosa. È il sistema chiamato della *divisione del tempo.*

Studiamo di comprendere come due stazioni *A* e *B* possano comunicare simultaneamente pel medesimo filo di linea. Daremo solo il principio generale di un impianto *duplex.*

Supponiamo che si tratti di impiegare il telegrafo Morse. Gli apparecchi sono disposti nella stessa maniera in ambe le stazioni.

Il manipolatore è in *T*, l'elettro-calamita ricevitrice in *a b*, una cassetta di resistenza (fig. 371) è intercalata in *B'* nel circuito, la batteria delle pile è in *P* ed il filo di linea in *L.*

Il trasmissore *T* della stazione *A* viene messo in azione, la corrente

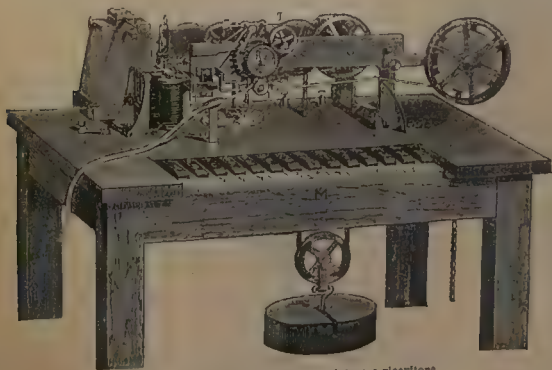



Fig. 369. — Telegrafo Hughes: manipolatore e ricevitore

della pila *P* si divide in due parti, una di queste si reca nel rocchetto *a* e di là nel filo della linea *L*, l'altra va nel rocchetto *b* e di là alla terra pel filo *f.* L'avvolgimento dei rocchetti *a* e *b* è tale che l'armatura *m* subisce da parte delle elettro-calamite *a* e *b* azioni diverse, e quella azione sarà nulla, l'armatura *m* non verrà spostata, se le due correnti che circolano nei rocchetti *a b* sono eguali. Si raggiunge tale risultato introducendo una frazione opportuna della resistenza *B'* nel circuito.

La corrente condotta dal filo di linea *L* nel rocchetto *b* della stazione *B* si scinde pur essa, una parte va alla terra pel filo attaccato alla destra del trasmissore *T*, e l'altra va pure alla terra pel filo *f*, attraversando il rocchetto *a* e la resistenza *B'*. In questo caso, le correnti circolando nel medesimo senso in *a* ed in *b* attirano l'armatura *m.*

Tutto succede in modo identico se si chiude il trasmissore T della stazione B.

Per conseguenza, regolando opportunamente le resistenze variabili B' delle due stazioni, il ricevitore di ciascuna di esse è insensibile alle correnti che essa manda; per converso, entra in azione sotto l'influenza delle correnti che gli vengono dall'altra stazione. Le stazioni potranno dunque comunicare simultaneamente. Mediante analogo assetto si possono spedire contemporaneamente nel filo due dispacci dalla medesima stazione. In luogo di venire da punti opposti, questa volta le correnti si propagano nel medesimo senso; questo è il sistema *diplex*.

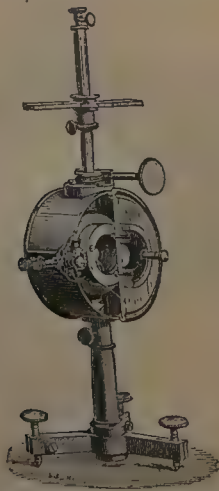



Fig. 350. — Galvanometro a riflessione Thomson. I movimenti dell'ago calamitato sono indicati dallo spostamento di un raggio luminoso riflesso da uno specchietto (solidale coll'ago) che si scorge verso *F* nel rocchetto.

Combinando il *duplex* ed il *diplex*, si possono mandare nella linea quattro dispacci alla volta, e si ha l'impianto *quadruplex*.

Abbiamo veduto in telefonia come il *telegrafo armonico*, per esempio quello di Mercadier (1), sciolga con grande semplicità il problema della trasmissione simultanea di parecchi dispacci sul medesimo filo di linea.

Esponiamo ora il principio del *telegrafo multiplo a divisione del tempo* di Baudot, in oggi molto usato. Lascieremo da parte tutto ciò

(1) Veggasi le *Télégraphe acoustique multiplex* di M. Mercadier, pag. 156 e seguenti.

che concerne l'esecuzione meccanica assai complessa di quel prezioso istrumento che fruttò al suo autore il diploma d'onore dell'Esposizione internazionale di elettricità del 1881.

Esaminiamo prima di tutto il trasmissore (fig. 372). Esternamente è una tastiera a 5 tasti 1, 2, 3, 4, 5. Fra il secondo ed il terzo tasto è situato un manubrio che serve a mettere l' apparecchio in istato di

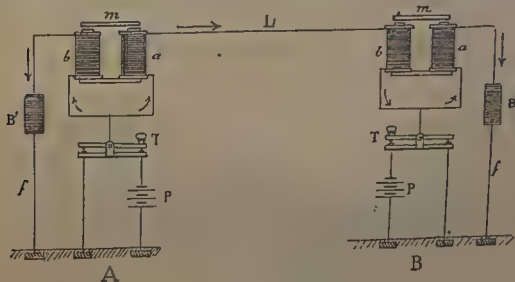



Fig. 371. — Principio di un assetto telegrafico in *duplex*.

trasmettere o di ricevere. Tutto è disposto in guisa che un tasto nello stato normale mandi nella linea L una corrente di senso contrario a quello che manda allorchè è abbassato.

Le correnti relative ai tasti allo stato normale son chiamate *correnti negative* (—).

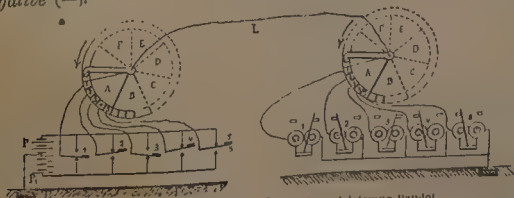



Fig. 372. — Principio del telegrafo a divisione del tempo Baudot.

Le correnti relative ai tasti abbassati sono chiamate *correnti positive* (+).

Se per esempio sono abbassati i tasti 1 e 3, rimanendo gli altri nella posizione normale, il segnale inviato si potrà rappresentare col simbolo + — + — —.

Combinando in diverse maniere i tasti abbassati con quelli che non lo sono, è facile trovare un numero di combinazioni di correnti bastan-

temente grande per rappresentare tutte le lettere, le cifre e gli altri caratteri indispensabili alla telegrafia. Alcuni di questi sono rappresentati dalla seguente tabella:

Riposo (nessun tasto è abbassato)	— — — — —
A o 1	+ — — — —
B od 8	— — + + —
C o 9	+ — + + —
D o 0	+ + + + —
E o 2	— + — — —
E, ecc.	+ + — — —
F.	— + + + —
G o 7	— + — + —
.... ecc.	

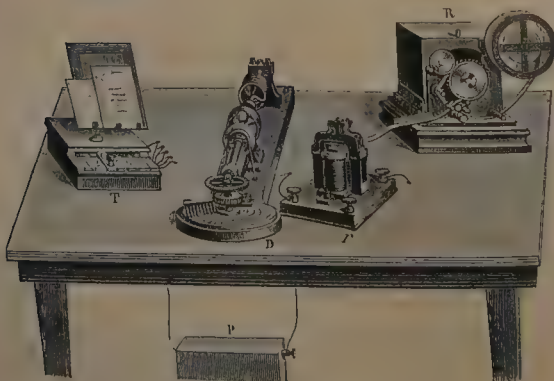



Fig. 373. — Veduta complessiva di una stazione telegrafica Baudot.
T. Trasmissore. *D.* Distributore. *r.* Soccorritore. *R.* Ricevitore.

Ed ora, come mai le correnti dei varii tasti passano esse successivamente nel filo della linea?

Ai tasti 1, 2, 3, 4, 5 corrispondono cinque piastrine metalliche 1, 2, 3, 4, 5 isolate le une dalle altre e fissate sopra un disco di ebonite. Un braccio mobile, che porta una piccola spazzola di fili metallici, gira intorno all'asse del disco che è collegato alla linea *L*. Quando la spazzola passa sulla piastra 1, la corrente inviata nella linea è quella che viene dal tasto 1; quando passa sulla piastra 2 nel filo della linea è lanciata la corrente del tasto 2, e così di seguito.

Siccome il contorno del disco di ebonite porta cinque sistemi di piastrine analoghe ad 1, 2, 3, 4, 5 e comprese rispettivamente nei settori *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, è possibile di mettere cinque trasmissori a tastiera identici al sopradescritto in comunicazione colle piastre di ogni settore. In questa maniera, la spazzola manderà successivamente al posto ricevitore i cinque segnali di ogni singolo impiegato, vale a dire 25 segnali per giro, il che corrisponde a cinque lettere, cifre, ecc.

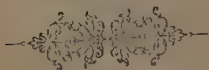
Il disco ed il braccio metallico girante costituiscono ciò che fu detto il *distributore* in ragione della sua funzione (fig. 373).

Col telegrafo Baudot si possono spedire da 500 a 600 dispacci di dieci parole all'ora.

Come sono utilizzate le correnti inviate in cotal guisa?

Un distributore affatto identico al precedente ed animato da un movimento rigorosamente concordante, *sincrono*, distribuisce quelle correnti ad elettro-calamite o soccorritori *r* (fig. 373). L'armatura di quell'elettro-calamita è portata da un cilindro di ferro dolce che riposa sui poli di una calamita a ferro di cavallo. Per tal motivo l'armatura è una vera calamita che, per conseguenza, oscilla in senso inverso quando l'elettro è eccitata da correnti di senso contrario. Le correnti positive faranno quindi oscillare una tale elettro-calamita in un senso e le correnti negative la faranno oscillare in senso contrario.

Quei movimenti sono trasmessi da una corrente locale alle elettro-calamite ricevitrici dell'apparecchio stampatore, le cui parti essenziali sono la ruota che porta i tipi, ed il *combinatore* che provoca l'impressione nell'istante che il tipo opportuno passa davanti al nastro di carta. La figura 373 mostra l'esterno del telegrafo Baudot.

Secondo le idee di Maxwell (1865) e della sua scuola i *fenomeni luminosi* non sono che un caso particolare dei *fenomeni elettrici*; è quindi razionale esporre ora le proprietà dell'*energia luminosa* e di studiare i fatti che, fuori da ogni teoria pura, legittimano l'opinione dello scienziato inglese.

LIBRO TERZO

L' ENERGIA LUMINOSA

CAPITOLO PRIMO.

L'ENERGIA LUMINOSA.

Vedremo in questo capitolo come siasi stabilito che l'*energia luminosa* proviene da un movimento vibratorio dell'*etere*, e come quel movimento si propaghi per onde, sia periodico, ed il periodo varii a norma del colore della luce.

Sulle orme di Newton, collochiamo dietro una fenditura verticale *f*, e ad 1 metro da quella, una lente acromatica *L* che abbia 50 centimetri di distanza focale. Facciamo poi cadere sulla fessura stessa, coperta per esempio da un vetro rosso, un fascio di luce. Allora sullo schermo *E*, collocato ad 1 metro di distanza dalla lente (fig. 375 e 376), si dipinge un'imagine, rossa della fessura *r*, la quale ne ha esattamente la lunghezza. Restringendo questa sempre di più, per esempio mediante lo spostamento di uno de' suoi lembi, l'imagine che le è eguale si avvicina evidentemente ad una linea retta.

Se una massa di vetro avente la forma di un *prisma* viene disposta parallelamente alla fessura in guisa da intercettare la luce al suo uscire dalla lente, l'imagine *r*, quantunque conservi la sua grandezza, è deviata verso la *base a b* del prisma. Essa era in *r*, il prisma la manda in *R*. L'angolo di *deviazione* è eguale a *r* o *R*.

Tale spostamento dell'imagine è dovuto alle rifrazioni subite dal fascio luminoso al suo entrare in n sul vetro del prisma, ed al suo uscirne in m.

Ove si faccia girare il prisma su sè stesso in guisa da modificare l'angolo di incidenza i, il fascio emergente si sposta: l'angolo di deviazione D da prima per esempio diminuisce, poi, per un valore opportuno dell'incidenza, lo stesso angolo D aumenta; l'imagine di R dopo essersi avvicinata ad r se ne allontana, benchè si continui a girare il prisma sempre nel medesimo senso.

La retrogradazione dell'imagine R ha luogo per una posizione particolare del prisma che ha ricevuto il nome di *posizione del minimo di deviazione;* l'esperienza, come pure le leggi della rifrazione mostrano che allora gli angoli di incidenza i e d'emergenza sono eguali.

Il medesimo esperimento ripetuto, sostituendo al vetro rosso vetri gialli, azzurri, ecc., conduce ai medesimi risultati, ma con questa notevole differenza, che per una stessa incidenza i l'imagine gialla è più deviata dal prisma dell'imagine rossa; l'imagine azzurra è deviata anche più dell'imagine gialla, ecc. Per abbreviazione si dice che la luce gialla è più *rifrangibile* della luce rossa e meno rifrangibile della luce blu.

Ora non è egli evidente che se la fessura è illuminata ad un tempo da tutte quelle luci che arrivano mescolate e dissimulate nel fascio A, esse dovranno essere separate dal prisma? Infatti i raggi rossi devono andar a formare l'imagine rossa in R, i gialli in J, i violetti in V, ecc., in regioni distinte dello schermo. Il prisma produce perciò la *dispersione* della luce del fascio A.

Per impedire che le imagini colorate successive si dilatino a spese l'una dell'altra, nel caso che le luci possiedano rifrangibilità vicine, è necessario operare con una fenditura sottile al massimo possibile; allora le liste colorate riescono spiccatamente separate, il fascio incidente A è, secondo la parola classica, analizzato. È vantaggioso prendere una fenditura rettilinea, poichè se essa avesse la forma di una freccia, di un cerchio, ecc., succederebbe lo stesso delle imagini colorate che si dipingono sullo schermo, ma quelle forme non sono comode, esse si stendono le une sulle altre assai più delle imagini rettilinee.

Andiamo più innanzi. Si pratichi una fenditura sullo schermo E secondo una qualunque delle liste R, J, ecc., e si ricevano i raggi che vi passano sopra un altro prisma parallelo alla lista; non si ottiene nessuna nuova imagine; se si tratta dell'imagine gialla J, sullo schermo appare solo un'imagine gialla. Questo fatto importante si enuncia dicendo che le luci separate dal prisma sono *luci semplici od omogenee*, od anche *monocromatiche*, mentre la luce del fascio incidente A è una luce *composta od eterogenea*.

Se il fascio A è formato dalla luce proveniente dal sole, benchè essa sembri bianca, dà nondimeno un'infinità di imagini colorate della fenditura f, quelle imagini sembrano succedersi senza interruzione e costituiscono col loro insieme ciò che si dice lo spettro della luce del sole, o più brevemente lo *spettro solare*. La fenditura impiegata deve essere strettissima, e giova disporre il prisma nella posizione di minima deviazione pei raggi medii.

I colori dominanti nello spettro sono, nell'ordine delle rifrangibilità crescenti: rosso, aranciato, giallo, verde, blu, indaco e violetto.

Si denominano spesso i *sette colori del prisma*, volendo così ricordare l'istrumento che permette di renderli sì agevolmente manifesti (1).

Una luce proveniente da una sorgente qualunque dà parimenti uno spettro **caratteristico** della sorgente.

Se il fascio analizzato A viene da un *corpo solido reso incandescente*, da un filo di platino arroventato da una corrente elettrica, dai carboni dell'arco voltaico, ecc., lo spettro è *continuo*; in nessuna parte le imagini successive della fenditura sono separate da intervalli oscuri. Elevando la temperatura del corpo incandescente, lo spettro diviene ognor più brillante e sembra estendersi sopra tutto dalla parte del violetto; esso emette luci sempre più rifrangibili.

Fig. 375. — Produzione di uno spettro luminoso. Dispersione della luce.

(1) Newton mediante esperienze numerose e ben note, dimostrò che la sovrapposizione in un medesimo fascio di tutti i colori separati dal prisma riproduce la luce recata dal fascio incidente *A*.

Le esperienze di Newton riflettono sopra tutto la luce solare.

È poi da notarsi che una luce può essere bianca quand'anche non contenga tutti i colori dello spettro, e ciò in una infinità di maniere; ma allora al posto delle rifrangibilità mancanti si veggono nello spettro liste nere: lo spettro dicesi allora *scanalato* ed il bianco corrispondente è un *bianco di ordine superiore*. Formando con quei colori dei gruppi qualsiasi si ottengono gruppi detti di *colori complementari*.

Aggiungiamo che un corpo qualunque, collocato in una data regione dello spettro, assume il colore di quella regione. Esso non ha quindi un colore suo proprio, perchè il colore dipende dalla luce che lo illumina; se essa è complessa, il corpo ne estingue certe parti e riflette le altre verso l'occhio che così riceve l'impressione di una colorazione che per definizione è il *colore del corpo osservato*.

Se invece il fascio analizzato A proviene da un *gas o da un vapore portato all'incandescenza*, come in un tubo di Geissler, mediante la scarica di un rocchetto di induzione, le diverse imagini sono spiccatamente separate, lo *spettro è discontinuo.*

Di più, quegli spettri dipendono dalla natura della sostanza volatilizzata. Ove si ponga un pezzo d'argento in una cavità praticata nel carbone inferiore e positivo dell'arco voltaico, la luce dell'arco dà uno spettro discontinuo formato da una linea o *riga* verde, d' una riga verde azzurrognola e di tre righe violette; col rame si ottengono due righe gialle e tre righe verdi assai vicine; il vapore di zinco conduce ad una riga rossa intensa ed a tre righe azzurre vicine. Una lega volatilizzata dà uno spettro discontinuo nel quale si trovano le righe spettanti a cadauno dei metalli che la costituiscono.

In conclusione *un vapore, un gas incandescente qualunque, dà un assieme di righe brillanti o spettro discontinuo che lo caratterizza*, spettro che non si potrà ricostituire identicamente con un altro gas. Questa legge importante fu intraveduta da Wheatstone e Miller nel 1845, ma furono Bunsen e Kirchhoff che la stabilirono mediante numerose e precise esperienze dal 1856 al 1859. Lo spettro è un vero reagente fisico che consente di riconoscere se un corpo semplice esiste o non esiste in un dato campione. A tal uopo bastano traccie di quella sostanza, impercettibili con qualunque altro mezzo, tanto sensibile è questo sistema di esame.

Se, preparato che si abbia un atlante degli spettri dei vapori di tutti i corpi semplici, nel corso delle ricerche appajono righe nuove, si sarà prevenuti della presenza di un elemento ancora ignoto nella sostanza volatilizzata.

Fu in questa maniera che Kirchhoff e Bunsen, scoprendo nella lepidolite di Sassonia una riga rossa non menzionata, furono condotti ad estrarne un metallo nuovo detto *rubidio;* la riga violetta data dalle acque madri saline di Dürkheim li condusse al *cesio*. D'altra parte la scoperta del *tallio* fatta da Crookes e Lamy deriva dall'osservazione della riga verde che caratterizza quel metallo. La riga indaco delle blende di Freiberg (solfuri di zinco) guidò Reich e Ritter alla scoperta dell'*indio*, e Lecoq de Boisbaudran, per mezzo di considerazioni analoghe, pervenne a preparare il *gallio.*

Quando si ha bisogno di ottenere una luce monocromatica si ricorre ai vapori metallici. Un po' di litio volatilizzato nella fiamma di una lampada ad alcool, od un po' di tallio volatilizzato mediante la scarica di un rocchetto di induzione tra due fili di quel metallo, danno luci perfettamente monocromatiche. Spesso è sufficiente usare la fiamma gialla di una lampada ad alcool contenente sale marino in soluzione.

Per lo studio degli spettri si idearono istrumenti chiamati *spettroscopii.*

Il più diffuso è quello che porta il nome di *goniometro di Babinet* o di *spettroscopio Bunsen e Kirchhoff.* Il prisma P (fig. 377) è piantato verticalmente nel centro di un cerchio diviso $c\ c$ sopra una piattaforma. Lungo il cerchio sono disposti un collimatore A ed un cannocchiale astronomico L; la fenditura che si illumina è nel piano focale della lente acromatica del collimatore; l'obbiettivo del cannocchiale è pure acromatico. Le diverse luci semplici cadono in un fascio

parallelo sul prisma; questo le divide inegualmente, ma i raggi di una stessa luce escono tra loro paralleli. La lente obbiettiva del cannocchiale dà nel suo piano focale imagini della fenditura formate rispettivamente da ciascuna delle luci semplici, rossa, gialla, ecc., imagini che si osservano per mezzo di un oculare di Ramsden *o*. Quando si vuole aumentare la separazione, la dispersione dei colori, si adoperano parecchi prismi in luogo di uno solo, come avviene negli spettroscopii di Thollon, Wolf, ecc. La figura 378 ne indica la disposizione generale. Spesso l'imagine di un regolo graduale viene per riflessione a combacciare collo spettro e permette di misurare le distanze rispettive delle sue diverse parti.

Alle volte è utile o comodo di osservare lo spettro nella direzione stessa del fascio incidente: a tale scopo si appiccicano prismi successivi di crown e di flint calcolati in guisa che il giallo non resti mai deviato (fig. 379); il rosso è allora portato in *R* ed il violetto in *V* da una parte e dall'altra del raggio incidente. A tali apparecchi si è dato il nome di *spettroscopii a visione diretta*.

È mestieri notare che i raggi luminosi sono in *pari tempo* calorifici: percorrendo lo spettro con un termometro sensibilissimo, dal violetto verso il rosso, l'inalzamento di temperatura non incomincia a manifestarsi che nel momento in cui il termometro riceve i raggi gialli; esso aumenta rapidamente, raggiunge il suo massimo al di là del rosso, nella regione invisibile che si denomina *regione infra-rossa* dello spettro, la cui estensione nello spettro solare è presso a poco eguale a quella dello spettro luminoso. Per lo studio delle proprietà calorifiche di uno spettro si ricorre anche ad una *pila termo-elettrica* strettissima (lineare), collegata ad un galvanometro sensibile e del quale si fa movere una faccia lungo lo spettro; la deviazione dell'ago fa conoscere la temperatura relativa delle diverse parti dello spettro per mezzo di una graduazione già preparata. Si usa pur anche il *bolometro* di Langley, basato sull'aumento di resistenza elettrica che soffre une porzione di circuito quando se ne eleva la temperatura.

E non basta, perchè le diverse ragioni di uno spettro, oltre all'essere luminose e calorifiche, godono anche di proprietà chimiche; vale a dire sono atte a determinare reazioni: decomposizioni o combinazioni. I sali d'argento, per esempio, sono decomposti dalla luce, il bitume di Giudea è alterato, il cloro e l'idrogeno dànno con esplosione acido cloridrico, ecc. Quegli effetti chimici appajono nella regione gialla, raggiungono il loro massimo un po' al di là del violetto e si fanno sentire sino ad una distanza quasi eguale al quintuplo della lunghezza dello spettro. Questa regione, oscura per la massima parte dello visto e attiva dal punto di vista chimico, costituisce lo spettro *ultra-violetto*. Il vapore di cadmio è quello che dà lo spettro ultra violetto più esteso.

I tre effetti, luminoso, calorifico e chimico, coesistono in una stessa parte dello spettro e non sono altro, dice Mascart (1) nel suo *Trattato*

(1) Mascart (Elia Nicola), nato a Quarouble (Nord) il 20 febbrajo 1831, professore di fisica al Collegio di Francia, segretario perpetuo dell'Accademia delle Scienze, autore di notevoli lavori sull'elettricità; le principali sue opere, non contando le opere classiche e numerose memorie, sono: il *Trattato di elettricità statica*, la *Meteorologia applicata alla previsione del tempo*; le *Lezioni sull'elettricità ed il magnetismo*, in collaborazione con Joubert, ispettore dell'Accademia di Parigi; il *Trattato d'ottica*, ecc.

di ottica « che manifestazioni diverse di una medesima sorgente d'energia, molto disuguali in apparenza, ma *inseparabili*, e che conservano i medesimi rapporti in tutti i fenomeni. »

Da questo punto di vista generale, in luogo di adoperare l'espressione di « raggio luminoso » noi useremo il vocabolo *irradiazione* che sarà applicato ad una porzione qualunque e ad una manifestazione qualsiasi dell'energia di uno spettro.

« L'impressione luminosa, soggiunge Mascart, è un effetto fisiologico che dipende dalla costituzione dell'occhio e non può servire per valutare l'energia relativa delle irradiazioni. Le azioni chimiche sono pur esse elettive; i loro rapporti variano colla natura e collo stato fisico delle sostanze impiegate per rivelarle. Tali distinzioni non esistono per le azioni calorifiche; sembra dunque legittimo prendere come *misura dell'energia di una irradiazione* la quantità di calore che essa è capace di svolgere sopra un corpo in un tempo determinato. » Benchè sia difficile di paragonare fra di loro le intensità di due tinte diverse,

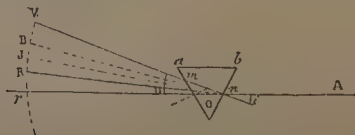



Fig. 376. — Dispersione delle irradiazioni.

Fraunhofer potè determinare approssimativamente il rapporto degli splendori di diverse parti dello spettro solare; il massimo è nel giallo e lo splendore va indebolendosi da una parte e dall'altra di quella regione (1).

(1) Le proprietà chimiche dello spettro solare diedero vita ad un'arte in oggi molto diffusa ed applicata a casi innumerevoli, all'arte della *fotografia*.

Niceforo Niepce, verso il 1826, riproduceva incisioni fissandole su lastre spalmate di bitume di Giudea e poi esposte al sole. Il bitume veniva alterato dalla luce attraverso i bianchi dell'incisione e rimaneva intatto sotto le parti oscure. Siccome l'olio di nafta non scioglie il bitume di Giudea impressionato dalla luce, succedeva che esso lasciava intatte le parti situate sotto i bianchi e levava invece il bitume protetto dai neri. Questo fu il punto di partenza della fotografia.

Verso la fine dello scorso secolo (1786), Scheele richiamò l'attenzione degli scienziati sull'azione esercitata dalla luce sui sali d'argento i quali vengono parzialmente decomposti e danno argento metallico.

Daguerre si servì di questo fatto per fissare le immagini formate sullo schermo d'una camera oscura. Il metodo di Daguerre o *dagherrotipia* fu fatto conoscere al pubblico da Arago, nel 1839, in una notevole relazione che presentò alla Camera dei deputati. Una piastra di rame inargentata era esposta all'azione del vapore di jodio; vi si formava sopra un sottile strato di joduro d'argento. La piastra sottratta all'azione della luce veniva poscia collocata in una camera ottica. La cornice che la conteneva veniva riportata ben chiusa nella stanza delle manipolazioni subito dopo che la piastra aveva subìto l'azione dell'immagine formatasi sopra di essa, e veniva esposta ad una corrente ascendente di vapori di mercurio a 60°. Su tutti i punti ove il joduro era stato decomposto ed ove per conseguenza era rimasto argento metallico si formava un'amalgama d'argento. Dopo un lavacro coll'iposolfito di soda che toglieva via il joduro non alterato, bastava guardare la piastra sotto una luce opportuna per scorgervi la fotografia: le parti amalgamate comparivano bianche e le altre parti nere.

Questo metodo era lungo ed incomodo. Dopo diversi esperimenti si giunse al metodo della fotografia *a collodio*.

Le irradiazioni spettrali producono anche certi effetti singolari che menzioneremo di volo. Quando certi corpi solidi, come i solfuri di bario,

Si prende un liquido filtrato contenente:

Etere rettificato a 60°	65 cent. cubi.
Alcool a 40°	85 » »
Joduro di cadmio	0g,6
Joduro d'ammonio	0g,4
Bromuro d'ammonio	0g,1

nel quale si scioglie un grammo di cotone fulminante.

Si stendono alcune goccie di questa preparazione sopra una lastra di vetro accuratamente lavata ed in guisa da ottenerne uno strato sottile e ben uniforme. Quel liquido si evapora ed

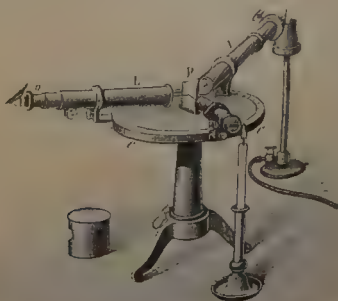



Fig. 377. — Spettroscopio Bunsen e Kirchhoff.

il cotone o collodio fa presa. In uno *stanzino fotografico* i cui vetri sono rossi, si sensibilizza la lastra tuffandola per due o tre minuti in una soluzione o bagno contenente 7 0/0 di azotato d'argento. Sulla piastra si formano allora bromuro e joduro d'argento. Dopo aver portata la imagine da fotografarsi chiara e nitida sopra un vetro appannato per mezzo di viti, vale a dire dopo aver *messa a punto* quell'imagine, si sostituisce al vetro appannato una cassetta piatta, che anche i fotografi italiani chiamano col nome francese *chassis*, contenente la lastra sensibilizzata. Tolto che siasi il coperchio alla cassetta, l'imagine viene a formarsi sullo strato sensibile e lo *impressiona*. Dopo un tempo di esposizione o di posa conveniente, la cassettina è chiusa di nuovo e riportata nello stanzino. Bisogna far comparire l'imagine, *rivelarla*. I liquidi rivelatori sono numerosissimi; si può prendere una soluzione di 50 grammi di solfato ferroso puro in 250 centimetri cubi d'acqua.

Questa soluzione completa la liberazione dell'argento nelle parti impressionate.

Dopo aver tolto via i sali non decomposti con una lavatura all'iposolfito di soda, si possiede una *prova negativa*, così chiamata perchè le sue regioni chiare ed oscure corrispondono alle regioni oscure e chiare dell'imagine.

Le vere prove o *prove positive* si stampano sia sul vetro, sia sopra una carta sensibilizzata, immergendole successivamente in una soluzione di sale marino ed in una soluzione di azotato d'argento a 20 per 100.

La carta, dopo essere stata seccata, viene applicata per la faccia sensibile sulla prova negativa ed esposta alla luce. Questa, attraversando i bianchi della negativa, impressiona la carta nelle regioni corrispondenti, mentre è invece arrestata dai neri. In questa guisa si produce sulla carta un'imagine negativa della negativa, vale a dire la vera imagine dell'oggetto.

di stronzio e di calcio, il diamante, ecc., sono stati esposti al sole, *insolati*, divengono atti ad emettere per un dato tempo la luce nel bujo. Questo fenomeno fu detto *fosforescenza*. Becquerel facendo rapidamente passare un corpo da regioni illuminate in regioni oscure per mezzo del suo fosforoscopio, riconobbe che tutti i corpi sono fosforescenti, ma in grado assai diverso; gli uni, come il solfuro di stronzio, possono rimanere luminosi per parecchie ore, altri solo per una minima frazione di secondo dopo l'insolazione. Sono le irradiazioni ultra violette quelle che sopratutto determinano la fosforescenza. La natura delle irradiazioni rese dipende da una quantità di circostanze, ma in generale esse sono meno rifrangibili di quelle che eccitano la fosforescenza; le irradiazioni ultra violette, sebbene oscure, si trasformano in irradiazioni luminose che sono meno rifrangibili.

Se quelle stesse irradiazioni oscure ultra violette vengono dirette sopra una soluzione di solfato di chinino, sopra un'infusione di corteccia di ippocastano, sopra vetro d'uranio, ecc., esse sono assorbite e quei corpi diventano luminosi. Il vetro d'uranio assume un colore verde intenso. Questo è il fenomeno della *fluorescenza*. L'energia delle irradiazioni oscure ripiglia così la forma luminosa.

Nel caso dei corpi fluorescenti, le irradiazioni luminose eccitate scompajono sì rapidamente dopo le irradiazioni eccitatrici, che la durata della loro fosforescenza è impossibile da determinarsi.

Studiamo ora un po' più da vicino la costituzione dello *spettro solare*.

Fraunhofer fu il primo ad osservare nello spettro solare un gran numero di linee o righe oscure (fig. 380) che egli distinse con lettere (1). Siccome la natura e la disposizione relativa di quelle righe non di-

---

fotografato. Dopo la lavatura all'iposolfito di soda, la carta impressionata viene immersa in una soluzione di cloruro d'oro. La tinta rosso delle regioni cupe viene così trasformata in una tinta violacea di un effetto più gradevole alla vista, in conseguenza di una combinazione d'oro e d'argento.

Col metodo detto al *gelatino-bromuro*, non solo si può diminuire il tempo di posa al punto di fare la fotografia *istantanea*, ma altresì, se i vetri sono conservati nel bujo, si può senza inconvenienti rivelare o sviluppare l'imagine parecchi mesi dopo che fu formata. I vetri al gelatino-bromuro si preparano così: si versa da prima in porzioni successive una soluzione di azotato d'argento (4 grammi di azotato d'argento per 10 grammi d'acqua) in una soluzione allungata di gelatina (7 grammi di gelatina in 100 grammi d'acqua) poi bromuro d'ammonio e bromuro di potassio. La mescolanza agitata dà un precipitato diviso di bromuro d'argento. Vi si aggiunge una soluzione concentrata e calda di gelatina e si mescola. La massa raffreddandosi fa presa. Essa viene tagliata in striscie, lavata con acqua abbondante, fusa, poi stesa in strato uniforme sulle lastre di vetro.

Quando il vetro fu impressionato, si sviluppa l'imagine con una soluzione di ossalato di ferro o con una mescolanza d'idrochinone, di solfito e di carbonato di soda; poi si opera come precedentemente.

Resterebbero ancora molte cose da dire intorno alla fotografia, ma il nostro campo è troppo angusto e non ci è dato trattenerci sui particolari dei processi fotografici. Oggidì si possono riprodurre agevolmente i diversi atteggiamenti di un uccello che vola, di un cavallo al galoppo, di un acrobata che fa i suoi esercizi, e persino le ramificazioni più delicate dei lampi. Si sanno del pari fotografare gli astri quali che sieno, e compilare così carte del cielo preziose per la loro fedeltà, e nelle quali si distinguono chiaramente stelle di 14ª grandezza.

Se si forma uno spettro sopra una piastra coperta da uno strato conveniente di cloruro di argento, si vede, dopo un'ora o due, apparire la fotografia dello spettro co' suoi propri colori. Il rosso, il verde ed il violetto sono riprodotti perfettamente; un colore pulce cupo precede il rosso, ed un colore grigiastro segue il violetto. Tuttavia quelle imagini si alterano rapidamente e la *fotografia in colore* od *eliocromia* ha fatto sinora ben pochi progressi.

(1) Wollaston, sin dal 1802, aveva osservato alcune righe, ma non vi aveva annesso importanza.

pendono affatto dalla sostanza del prisma impiegato, egli le considerò come caratteristiche della luce solare. La luna ed i pianeti che ci rimandano la luce che ricevono dal sole danno infatti il medesimo spettro del sole; per converso ogni stella ha nel suo spettro righe che le sono proprie.

Per paragonare agevolmente gli spettri di due sorgenti si copre (fig. 381) la parte superiore della fenditura dello spettroscopio con un prisma a riflessione totale destinato a portare sulla fenditura stessa la imagine di una sorgente S data da una lente; la luce che proviene dalla seconda sorgente passa per la parte inferiore della fenditura. In questa maniera i due fasci escono parallelamente dal collimatore e cadono sul prisma sotto il medesimo angolo; lo spettro superiore osservato nel cannocchiale è quello della sorgente S, lo spettro situato al disotto è quello della seconda sorgente.

In questa guisa, prendendo come sorgente S una fiamma contenente vapori di sodio e per seconda sorgente il sole, si vede senza fatica che le due righe gialle del sodio si dispongono di fronte alle righe D_1 e D_2 dello spettro solare, e si vede pure che le righe G ed F coincidono con due delle linee dell'idrogeno, ecc.

Le righe oscure dello spettro solare servono di *riferimento* per la rifrangibilità delle diverse luci.

Qualsiasi linea colorata che verrà a collocarsi di faccia ad una data riga dello spettro si dirà formata da una luce la cui rifrangibilità è indicata da quella riga. La luce gialla del sodio, per esempio, possiede una rifrangibilità indicata dalle righe D_1 e D_2 dello spettro solare.

Da che cosa dipendono quelle righe oscure?

Un'esperienza effettuata da Leone Foucault mise i fisici in grado di rispondere a tale quesito.

Avendo fatto passare i raggi solari attraverso un arco voltaico carico di vapori di sodio, Foucault notò che le righe D_1 e D_2 diventavano più oscure e più larghe di prima e che si formavano ancora in faccia alle righe gialle ottenute coll'arco solo. Foucault formulò la sua scoperta nel modo seguente: « L'arco elettrico carico di vapori di sodio, che ha la proprietà di emettere con grande intensità una luce definita dalla rifrangibilità della riga D di Fraunhofer, ha pure la proprietà di assorbire quella stessa luce con grande energia. »

Angstrom e Kirchhoff generalizzarono l'esperienza ed osservarono che in tutti i casi *una fiamma lascia passare le irradiazioni che essa non emette, e per converso assorbe quelle che emette* (1).

Se la fiamma è bastantemente densa, l'assorbimento è completo e nello spettro studiato la irradiazione assorbita è rappresentata in intensità dalla irradiazione di pari rifrangibilità emessa dalla fiamma.

Se, a cagion d'esempio, si pongono sul tragitto della luce che cade sopra un prisma P (fig. 382) e proveniente da uno dei carboni dell'arco elettrico tre becchi Bunsen B la cui fiamma è carica di vapori di sodio, si osservano, adottando un assetto opportuno, due spettri si-

(1) Vi ha qui un'analogia evidente con ciò che succede col suono. I risuonatori non possono nemmeno essi assorbire l'energia vibratoria che loro arriva e sostituirsi alla sorgente, se non in quanto sono atti ad emettere un suono del medesimo periodo che quello della sorgente: essi sono trasparenti, vale a dire indifferenti per gli altri suoni.

tuati uno di fianco all'altro; lo spettro continuo del carbone incandescente è attraversato da una lista gialla *b* o lo spettro discontinuo del sodio da una stessa lista *a;* quelle due righe hanno eguale intensità, ma *b* sembra oscuro rispetto alla porzione rimanente dello spettro continuo perchè la irradiazione gialla emessa dai becchi di Bunsen che si sostituisce a quella dell'arco è meno intensa di quest'ultima. Una riga non è oscura generalmente parlando che in ragione del suo distacco sopra un fondo più luminoso di essa.

Produrre una riga oscura al posto di una riga brillante con un assorbimento, vuol dire invertire la riga brillante (1).

Non insisteremo più a lungo su questi fatti che costituiscono ciò che

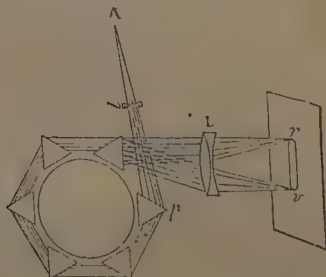



Fig. 378. — Figura teorica di uno spettroscopio a grande dispersione.

si chiama l'*analisi* spettrale, malgrado il grande interesse che presentano, essendo essi i soli reagenti chimici posseduti dall'astronomia, poi-

---

(1) Se esiste intorno al sole un'atmosfera capace di emettere irradiazioni della medesima rifrangibilità di quella delle righe nere dello spettro solare, è chiaro che l'esistenza di quelle righe si troverà spiegata dall'assorbimento esercitato da quella atmosfera speciale sulle irradiazioni emesse dal nucleo centrale incandescente. Questa è la teoria proposta da Kirchhoff.

Da questo modo di vedere scaturisce una conseguenza importante, cioè che basta, per determinare la natura dei vapori che esistono nell'atmosfera del sole o di una stella qualsiasi, ricercare quali sono le sostanze che introdotte in una fiamma danno righe brillanti coincidenti colle righe oscure dello spettro dell'astro osservato.

Kirchhoff, Angström e Thalen, poi più tardi, nel 1878, Lockyer, hanno riconosciuto l'esistenza certa nel sole di venti metalli, che oggidì con molte buone ragioni si potrebbero portare a circa trenta.

Certe righe dello spettro solare hanno un'altra origine, esse provengono da una specie di assorbimento esercitato dagli elementi non incandescenti dell'atmosfera terrestre; le si chiamano *righe telluriche* e furono studiate da Janssen, Cornu, ecc. Si produce un bellissimo *spettro di assorbimento* di questo genere, facendo passare raggi luminosi attraverso un tubo pieno di gas acido ipoazotico: lo spettro è allora solcato da liste nere o scannellature. I chimici studiarono gli spettri di assorbimento di tutti i gas.

Facciamo osservare che nello spettro infra-rosso esistono linee secondo le quali l'azione calorifica passa per minimi: quelle sono le righe dello spettro infra-rosso, le si osservano facilmente per mezzo del bolometro di Langley.

Parimente nello spettro ultra-violetto esistono linee inattive o righe. Seguendo l'esempio di Mascart e Cornu si ponno fotografare, poichè là ove esse esistono, lo strato sensibile non sarà impressionato. Esse son pur facili da osservare, ricevendo lo spettro ultra-violetto sopra un vetro d'uranio come fece Soret, ed osservandole per mezzo di un oculare di Ramsden. Nei punti ove le irradiazioni ultra-violette mancano, la fluorescenza del vetro d'uranio non si manifesta punto.

chè la luce è l'unico legame che unisce gli astri e ci rende possibile la ricerca della loro composizione.

Esponiamo brevemente fatti d'ordine diverso.

Dal punto di vista della luce tutti i corpi trasparenti non si comportano come il vetro e l'acqua.

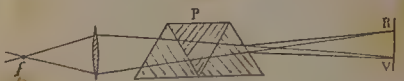



Fig. 379. — Schema di uno spettroscopio a visione diretta.

Erasmo Bartholin, servendosi di un minerale naturale, lo *spato d'Islanda* (1), scoprì che un fascio di luce incidente può dare per ri-

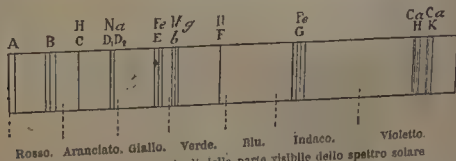



Fig 380 — Righe principali della parte visibile dello spettro solare

frazione, due fasci emergenti distinti e produrre il fenomeno della *doppia rifrazione*.

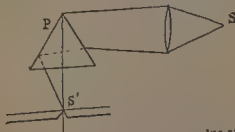



Fig 381 — Assetto adottato nell'intento di ottenere due spettri superposti

Per fissare le idee, facciamo cadere normalmente sopra una delle faccie di un romboedro di spato R un fascio luminoso A (fig. 384). Ecco che

(1) Lo spato d'Islanda si presenta in grossi cristalli dai quali si possono agevolmente staccare dei romboedri. Un romboedro (fig. 383) è una specie di cubo obliquo le cui sei faccie sono losanghe o rombi eguali. Tre degli angoli ottusi di quelle faccie si incontrano in A e tre altri in A'. La linea ideale AA' ha ricevuto il nome di asse *cristallografico* dello spato. Se si appoggiano il pollice e l'indice rispettivamente sui vertici A ed A', e poi si guarda il romboedro facendolo frattanto girare intorno ad AA', lo si vede passare tre volte in un giro per la medesima posizione, per la medesima situazione. Per tale ragione si dice che un tal cristallo possiede una *simmetria ternaria*. Qualsiasi cristallo nel quale esisterà una linea quale AA', qualunque sia del resto il numero dei passaggi per la medesima posizione, è *uniasse*. L'ordine della sua simmetria è eguale al numero dei passaggi del cristallo per la medesima situazione quando lo si fa girare d'una circonferenza intorno al suo asse AA'.

cosa si verifica: una porzione del fascio continua il suo cammino senza deviare ed esce dal cristallo in O; un'altra porzione, per lo contrario, si rifrange secondo $m\,o$, ed esce in E parallelamente ad O e ad A; il piano che contiene il fascio $A\,O\,E$ è parallelo alla bisettrice degli angoli ottusi delle faccie incontrate dalla luce.

Se si fa girare il cristallo sopra sè stesso, lasciandolo perpendicolare ad A, si vede il fascio O rimanere fermo, mentre il fascio E gira intorno ad esso.

Per ricordare che il fascio O si comporta come se il romboedro fosse di vetro, lo si chiama *fascio ordinario*, mentre il fascio E, che segue un'altra legge di rifrazione, lo si dice *raggio straordinario*.

Collocando in R' un secondo romboedro di spato, si vedono apparire,

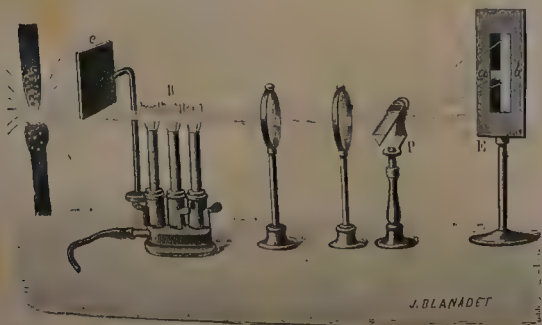



Fig. 382. — Esperienza dell'inversione delle righe.
e, Schermo che intercetta una parte del fascio luminoso
E, schermo sul quale si riceve il fenomeno.

come si poteva aspettarselo, quattro fasci luminosi: O dà O_o ed O_e, dall'altra parte E dà E_e ed E_o. Facendo ruotare sopra sè stesso uno dei romboedri, R' per esempio, si vedono ancora i fasci O_o ed E_o restare immobili, mentre i fasci O_e ed E_e girano intorno ad essi. Inoltre questi variano di intensità, come pel primo ha osservato Huygens. Per vedere facilmente secondo quale legge si produca quella variazione di splendore e per semplificare l'esperimento, intercettiamo, per esempio, il fascio E. Sullo schermo non vi saranno più che due imagini O_o ed O_e. Per una data posizione del romboedro R', l'imagine O_e si estingue ed O_o possiede allora il suo splendore massimo, poi l'imagine O_e assume gradatamente uno splendore più vivo, mentre quella O_o va diminuendo.

A 45° da quella posizione, le due imagini possiedono uno splendore eguale, poi è O che domina, ed a 90° l'imagine O scompare a sua volta, si estingue, mentre O_e ha raggiunto il massimo del suo splendore. Le cose si ripetono nella medesima guisa in ogni quadrante;

la figura 385 mostra le variazioni di splendore delle due imagini per un giro completo di R'. Se i due cerchi luminosi O_o ed O_e sono disposti sullo schermo in guisa da presentare una parte comune, questa conserva costantemente il medesimo splendore: le intensità delle due imagini sono per conseguenza rigorosamente *complementari*. L'energia del fascio incidente O si suddivide fra i due fasci emergenti O_o ed O_e in modo diverso, quando i due romboedri R e R' prendono posizioni relativamente nuove.

Il piano passante per l'asse $A\,A'$ di un romboedro (fig. 383) e per le bisettrici degli angoli ottusi di due faccie opposte lo si dice una *sezione principale* del romboedro: essa è perpendicolare ai piani delle faccie.

Le estinzioni ed i massimi di splendore delle imagini O_o ed O_e si producono precisamente quando *la sezione principale del romboedro R' si dispone parallelamente o perpendicolarmente a quella del romboedro R.*

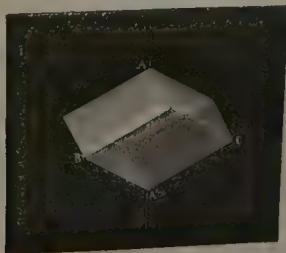



Fig. 383. — Romboedro di spato d'Islanda (carbonato di calce).

La luce del fascio O è dunque ben diversa da quella del fascio A; in fatti la rotazione del romboedro R non altera guari l'intensità dei fasci O ed E, mentre quella del romboedro R' fa prendere ai fasci O_o ed O_e che provengono da O, splendori che variano periodicamente e che hanno valori eguali quando la sezione principale di R' prende posizioni simmetriche rispetto al piano della sezione principale di R, o, ciò che è lo stesso, rispetto al piano perpendicolare a quella sezione.

Codesto complesso di fatti, codesta simmetria del fascio O, si esprime dicendo che la luce del fascio è *polarizzata* (1), e si prende arbitrariamente il piano della sezione principale di R come piano di polarizzazione del fascio O.

Considerato da questo punto di vista, il romboedro R ha ricevuto il nome di *polarizzatore*, ed il romboedro R' che discopre le proprietà del fascio polarizzato, che lo *analizza*, quello di *analizzatore*.

---

(1) Dal greco πολέω (poleo): per girare, dare una rotazione

Essi non hanno di distinto che la loro funzione rispettiva nell'esperimento.

L'osservazione del fascio straordinario E conduce ai medesimi risultati: esso pure è polarizzato; ma l'imagine E_o, per esempio, assume il massimo splendore nei momenti in cui O_e si estingue, ed E_e nei momenti in cui si estingue O_o. Si tiene calcolo di questa particolarità prendendo come piano di simmetria o di polarizzazione del fascio straordinario il piano perpendicolare alla sezione principale di R, vale a dire perpendicolare al piano di polarizzazione del fascio O, e si dice che il

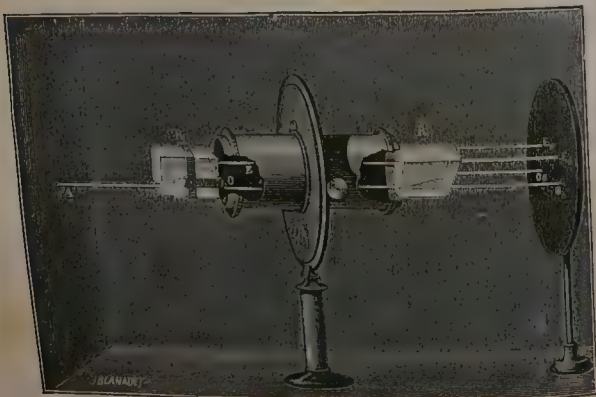



Fig. 381. — Produzione della luce polarizzata rettilinea e studio dei suoi caratteri.

romboedro R lascia passare due fasci di luce polarizzata ad angolo retto (1).

---

(1) Una lamina tagliata nel cristallo separa pure il fascio incidente in due parti, le quali sono tutte e due polarizzate ed hanno i loro piani di polarizzazione ad angolo retto. Due lamine tagliate in guisa da presentare un'eguale inclinazione sull'asse del romboedro si comportano nella medesima guisa in condizioni identiche. Finalmente se una lamina viene tagliata perpendicolarmente all'asse $A A$, un raggio che la incontra normalmente, vale a dire che le arriva parallelamente all'asse, non viene birifratto. In poche parole, l'asse cristallografico è anche un asse di *simmetria ottica*. Le traccie del piano della sezione principale dell'analizzatore sul piano della *lamina cristallina*, quando la luce che questa gli invia è estinta o massima, si chiamano le *sezioni principali della lamina*. Spesso quelle direzioni si indicano con segni di riferimento tracciati sopra ogni lamina.

Tagliando un prisma di spato si ottengono due spettri; l'uno è lo spettro formato dai raggi ordinarii e l'altro lo spettro formato dai raggi straordinarii.

Tutti i cristalli uniassi si comportano come lo spato d'Islanda, ma in grado diverso. Il quarzo è dopo lo spato il più importante.

La luce polarizzata si può ottenere anche per riflessione, come osservò Malus.

Se un fascio di luce $a\ b$ cade sopra uno specchio di vetro nero $A\ B$ sotto un angolo di 35°, 25', il fascio riflesso è polarizzato. Infatti, ricevuto sopra un romboedro (fig. 387), si com-

Generalmente si prendono come polarizzatore ed analizzatore due spati preparati in guisa da eliminare per riflessione totale in c il raggio ordinario. Quegli spati si chiamano *prismi di Nicol* o semplicemente *nicol*, dal nome dell'inventore (fig. 386). Con ciò si semplifica l'osservazione.

Interponendo sul tragitto della luce, polarizzata da un nicol e formante un fascio di raggi paralleli, una sottile lamina cristallina, la luce emergente viene modificata e le due imagini O ed E assumono colori complementari. Questo fenomeno, scoperto da Arago nel 1811, ha ricevuto il nome di *fenomeno di polarizzazione cromatica*. Allorchè si fa girare il polarizzatore o l'analizzatore di 90°, si vedono le imagini O ed E vestire i colori complementari di quelli che avevano da prima. L'intensità della tinta varia a norma della posizione delle sezioni principali della lamina rispetto a quelle del polarizzatore e del-

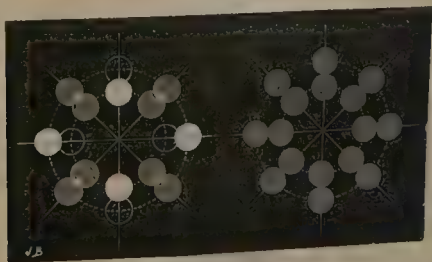



Fig. 385 — 1.° Caratteri della luce polarizzata dallo spato R. Splendori rispettivi delle due imagini quando la sezione principale del polarizzatore R' è spostata rispetto a quella del polarizzatore R.
2.° Le imagini ordinaria O e straordinaria E date dal polarizzatore R solo hanno uno splendore indipendente dalla posizione della sua sezione principale rispetto al fascio A.

l'analizzatore; essa è massima quando le sezioni principali della lamina sono a 45° di quelle del polarizzatore e dell'analizzatore. Il colore della tinta dipende pure dallo spessore della lamina cristallina: assottigliando più o meno in regioni opportune una lamina cristallina, si potranno far comparire sullo schermo farfalle, fiori che presentano colori vivi e svariati.

---

porta come il fascio ordinario emergente da un romboedro la cui sezione principale coincidesse col piano di incidenza del fascio. Il piano di polarizzazione si trova perciò determinato, ed è precisamente il piano d'incidenza.

Volendo si può prendere come analizzatore un secondo vetro molato (fig. 38[illegible]) ed osservare le variazioni di intensità del fascio doppiamente riflesso, quando il piano di seconda riflessione si sposta rispetto a quello della prima riflessione.

Per mezzo di riflessioni e rifrazioni moltiplicate attraverso sovrapposizioni di lamine di vetro dette *pile di vetri*, si può pure polarizzare più o meno completamente la luce.

La polarizzazione è incompleta quando l'estinzione non può essere ottenuta per mezzo dell'analizzatore. In fatti la luce non polarizzata conserva la sua intensità, qualunque sia la posizione dell'analizzatore.

Le lamine cristalline grosse non producono colorazione.

In generale una lamina tagliata perpendicolarmente all'asse non produce la polarizzazione cromatica; infatti in quella direzione non ha luogo doppia rifrazione: tuttavia dobbiamo notare che il quarzo, per esempio, fa eccezione alla regola.

Una lamina di quarzo, messa al posto della precedente, dà una colorazione che non varia punto facendo girare la lamina sopra sè stessa, che cambia quando si gira l'analizzatore, ma che non si estingue mai, nè mai diventa bianca.

Operiamo dapprima in luce monocromatica.

Prendiamo come analizzatore un nicol e facciamo cadere sul polarizzatore luce monocromatica. Mettendo l'analizzatore ad angolo retto col polarizzatore, havvi estinzione del fascio emergente; ma se fra i due nicol si pone una lamina di quarzo tagliata perpendicolarmente all'asse del cristallo, la luce emergente riappare, ed è necessario far

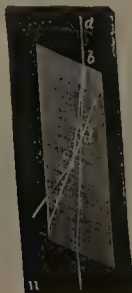



Fig. 386. — Sezione di un prisma di Nicol e direzione dei raggi ordinario e straordinario.

girare l'analizzatore di un certo angolo per ristabilire l'estinzione. Per questo si dice che il quarzo è dotato del *potere rotatorio*, che esso fa girare il piano di polarizzazione del fascio incidente. Molti corpi solidi, liquidi ed anche allo stato di vapore, fruiscono di questa proprietà osservata per la prima volta da Arago nel 1811.

Il potere rotatorio dipende dalla natura della sostanza attraversata dalla luce, dallo spessore di quella sostanza e dal colore della luce polarizzata che egli le manda (1).

---

(1) Un corpo trasparente, come sarebbe il vetro non fruisce del potere rotatorio. Ciò nulla meno un cubo di vetro di flint, per esempio, collocato in M, acquista il potere rotatorio non appena si produca (fig. 388) nel sito ove è posto, e per mezzo di un'elettro-calamita $S S$, un campo magnetico, e l'effetto ne è tanto più intenso quanto più le linee di forza sono numerose e di direzione più vicina a quella del fascio incidente. La sorgente della luce è in L, il polarizzatore in P e l'analizzatore in P.

Il fenomeno del *potere rotatorio magnetico* fu scoperto da Faraday nel 1845, mentre era intento a cercare le relazioni esistenti fra la luce e l'elettricità. Tutti i corpi vi partecipano in gradi diversi.

Certi corpi deviano il piano di polarizzazione verso la sinistra dell'osservatore che riceve il fascio luminoso al suo uscire dall' analizzatore, e si dicono sostanze *levogire;* le altre deviano il piano di polarizzazione verso destra, e sono sostanze *destrogire.*

Operando con una luce polarizzata che non sia monocromatica, colla luce di una lucerna, del sole, ecc., certe irradiazioni vengono estinte in tutte le posizioni che può prendere l'analizzatore, poichè la lamina fa girare di angoli diversi le diverse irradiazioni: in particolare l'estinzione del giallo fornisce una tinta porpora o grigia di lino detta *tinta*

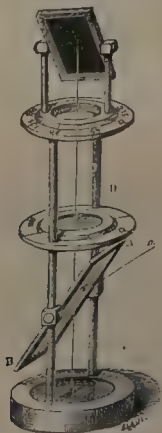



Fig. 887. — Polarizzazione della luce per riflessione.

sensibile, perchè essa volge al blu od al rosso per poco che si sposti l'analizzatore in un senso o nell'altro. È la considerazione di quella tinta che surroga l'estinzione della luce monocromatica quando si ha da fissare il potere rotatorio di una sostanza impiegando luce polarizzata ordinaria non monocromatica.

Se in luogo di operare con luce che cade sopra una lamina cristallina in raggi paralleli *(luce parallela)* si opera con una luce che converge in un punto *(luce convergente)*, il fenomeno della polarizzazione cromatica cambia d'aspetto: si ottengono anelli colorati attraversati da una croce nera o bianca secondo la posizione dell'analizzatore (fig. 889). Prendendo lamine tagliate opportunamente da cristalli non uniassi, le figure osservate mostransi più complesse (fig. 890). Questi fenomeni sono molto utili ai mineralogisti.

L'astronomo inglese Airy, mentre studiavasi di compensare il potere di un quarzo destro con un quarzo sinistro, vide presentarglisi un fenomeno singolare. Nel centro degli anelli la compensazione avveniva di fatti, ma dal centro partivano spirali nere fra le quali apparivano alcune traccie di anelli. Quelle spirali sono orientate, *verso la destra* o *verso la sinistra*, secondo che l'ultimo quarzo attraversato dalla luce prima di cadere sull'analizzatore è *levogiro* o *destrogiro*. Esse tagliano la croce sopra due diametri perpendicolari.

Ritorniamo ora allo studio delle proprietà della luce non polarizzata, ed incominciamo collo stabilire questo fatto importante che: *luce aggiunta a luce può produrre oscurità.*

Seguendo l'esempio di Fresnel, facciamo cadere sopra un sistema di due specchi m_1 ed m_2, poco inclinati uno sull'altro (fig. 391), la luce proveniente da una sorgente S, che supporremo da prima monocroma-

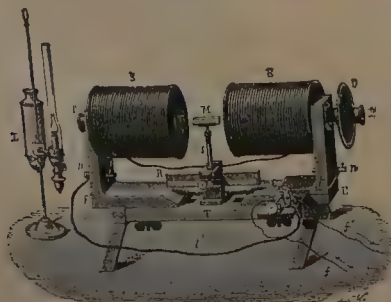



Fig. 388. — Elettro-calamita Faraday. Scoperta del potere rotatorio magnetico.

tica (rossa per esempio). I fasci riflessi su m ed m_2 si sovrappongono nella regione n_1 o n_2, e nondimeno sullo schermo si veggono apparire in quella regione liste oscure separate da liste di luce rossa, sensibilmente parallele all'intersezione O dei due specchi. La comparsa di quelle liste oscure prova che luce aggiunta a luce produce oscurità.

Sostituendo alla sorgente S sorgenti di luce ognora più rifrangibili, veggonsi le frangie diventare più sottili, l'angolo n_1 o n_2 ne contiene un numero che va crescendo dal rosso al violetto. Sulla linea centrale c si produce sempre una frangia brillante. *Evidentemente le cose avvengono come se la luce fosse inviata dalle sorgenti virtuali* S_1 ed S_2 *imagini di* S.

Poichè le varie frangie brillanti si avvicinano allorchè si prendono luci S sempre più rifrangibili, è chiaro che alquanta luce bianca sarà dispersa e che la frangia centrale C sarà bianca.

Sostituendo ai due specchi le due metà di una lente, le sorgenti S_1 ed S_2 diventano reali (fig. 392), e si osserva ancora il medesimo fenomeno.

Disponendo un terzo specchio, che chiameremo m_2, in guisa che il fascio monocromatico riflesso sopra m_1 si rifletta anche su m_2, prima di sovrapporsi al fascio riflesso su m_1 ed in guisa tale che il cammino che percorre sia il medesimo che percorrerebbe sopprimendo quella seconda riflessione, si osserva che il fenomeno è invertito: là ove si

Le sezioni principali del polarizzatore e dell'analizzatore sono parallele.

Le sezioni principali del polarizzatore e dell'analizzatore sono ad angolo retto.

Fig. 389. — Anelli colorati prodotti in luce convergente polarizzata da una lamina cristallina appartenente ad un cristallo uniasse e perpendicolare all'asse.

formavano le frangie brillanti, ora si formano frangie oscure, e viceversa.

Se si vogliono ottenere frangie circolari, si opererà come Newton. Dirigasi sopra una lastra di vetro inclinata a 45° (fig. 393) un fascio di raggi monocromatici paralleli A, si dispongano le cose in modo che quei raggi vengano riflessi sopra un sistema formato da un piano di vetro P e di una lente L di vetro riposante su quel piano, e poi ritor-

Fig. 390. — Fenomeni di polarizzazione cromatica prodotti da una lamina cristallina non appartenente ad un cristallo uniasse.

nino sul cannocchiale L^1 nel quale si osservano. Si scorgerà in luce monocromatica una serie di anelli.

I quadrati dei diametri delle frangie oscure variano come la serie dei numeri pari 0, 2, 4, 6, e quelli delle frangie oscure brillanti come la serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7.

Le grossezze della lamina imprigionata fra L P variano nella medesima guisa.

Con luci sempre più rifrangibili, gli anelli si stringono intorno al centro; operando in luce complessa, la luce sarà dunque dispersa: i colori saranno separati.

Formando la lamina sottile limitata dal piano P e la lente di sostanze trasparenti sempre più rifrangenti, gli anelli si allargano, *i quadrati dei loro diametri variano in ragione inversa dell'indice di rifrazione della sostanza di cui è formata la lamina.*

Le leggi degli anelli colorati furono stabilite da Newton che effettuò le misure semplicemente col compasso.

Osservando per trasmissione, si vede un sistema di anelli complementari degli anelli osservati per riflessione. In particolare, il centro

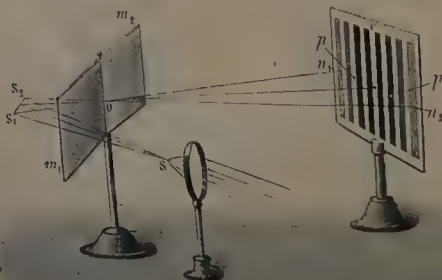



Fig. 391. — Interferenze della luce. Esperimenti dei due specchi di Fresnel.

degli anelli riflessi è oscuro e quello degli anelli trasmessi è brillante. Questo fatto devesi avvicinare all'inversione delle frangie date da due specchi, quando si obbliga uno dei due fasci a subire due riflessioni in luogo di una sola.

I fenomeni che abbiamo testè descritti si chiamano *fenomeni di interferenza.*

Perchè tali fenomeni si producano, ci vogliono sempre due fasci sovrapposti. Arrestando uno dei due fasci, per esempio, quello riflesso su m_1 nell'esperienza dei due specchi, le frangie scompajono. Questo è il carattere immediato di quei fenomeni.

Generalmente le frangie si osservano ricevendole sopra un vetro appannato, ove poi si esaminano per mezzo di una lente di Fresnel munita di un reticolo.

Ricevendo sopra una piastra munita di due fori un fascio di luce solare proveniente da un altro foro, si osservano, come lo indicava Young, due serie di cerchi concentrici iridescenti separati da tratteggi o frangie

rettilineo (fig. 394). Si sopprime l'iridescenza frapponendo un vetro monocromatico sul tragitto della luce.

Coprendo uno dei fori con uno schermo, le frangie scompajono come pure una serie di cerchi. Per conseguenza, i due fori, o per meglio dire i due fasci che ne escono, sono necessarii alla produzione di frangie, mentre ogni foro può dare da solo una serie di cerchi. Le frangie risultano da un fenomeno di interferenza propriamente detto, ed i cerchi da un *fenomeno di diffrazione.*

Ogni volta che la libera propagazione della luce trova un ostacolo nel lembo dello schermo, nei due lembi di una fessura o di un'apertura stetta qualunque, in un capello teso, ecc., appajono frangie di diffrazione. Perciò l'ombra di un capello è attraversata da una linea brillante al centro, e da una parte e dall'altra si manifestano linee alternativamente brillanti ed oscure. Come si possono spiegare le esperienze che abbiamo riferito?

Non vi è che un mezzo immediato: ragionare per analogia.

Fu dimostrato indiscutibilmente che il suono è prodotto dalle vibrazioni periodiche delle particelle materiali e che quelle vibrazioni si propagano

Fig. 392. — Interferenza proveniente dalla sovraposizione delle luci inviate dalle sorgenti S_1 ed S_2 imagini reali della sorgente S data dalle due metà di una lente.

per onde sferiche concentriche, in un mezzo qual è l'aria. Se λ è la lunghezza di onda del suono considerato, noi abbiamo veduto che l'aria situata in regioni distanti $\frac{\lambda}{2}$, partendo dal punto vibrante P, è alternativamente in uno stato di condensazione e di rarefazione, e che ad ogni semi-periodo lo stato di condensazione di una di quelle regioni si cambia in una rarefazione — e che nel caso delle vibrazioni trasversali, un movimento ascendente è surrogato da un movimento discendente (fig. 45) — *la velocità del movimento vibratorio in due punti separati da una distanza eguale ad un numero pari di volte* $\frac{\lambda}{2}$ *è la medesima; per lo contrario due punti separati da una distanza eguale ad un numero dispari di volte* $\frac{\lambda}{2}$ *hanno velocità vibratorie eguali e dirette in senso contrario* (1).

Risulta da ciò che una particella p (fig. 391) situata a distanze $S_1 p$ ed $S_2 p$ da due punti vibranti all'unisono S_1 e S_2 è egualmente sollecitata a moversi ad un tempo in due sensi opposti allorchè la differenza delle percorrenze $S_1 p$ e $S_2 p$ è eguale ad un numero dispari di

(1) Il medico e fisico inglese Tomaso Young (1773-1829) e Fresnel (1788-1827) hanno dimostrato tutta la fecondità di quel principio.

mezze lunghezze d'onda; la particella p resterà dunque immobile. Allora si dice che i due movimenti inviati dalle sorgenti S_1 ed S_2 *interferiscono* in p. Se, per converso, la differenza delle percorrenze $S_1 p$ ed $S_2 p$ è eguale ad un numero pari di semilunghezze d'onda, le due vibrazioni si sommano sulla particella p, che allora assume il suo movimento massimo (1).

---

(1) Nella figura 397 si sono rappresentate quattro serie di onde concentriche emanate da due punti vibranti all'unisono o sorgenti sincrone di movimenti vibratorii. I raggi di quelle onde sono rispettivamente $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{2\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$, ecc.

Tutte quelle che hanno per raggio un numero dispari della semilunghezza d'onda furono punteggiate, e noi le chiameremo *onde dispari*, le altre, segnate con una linea ferma e che hanno per raggio un numero pari di semilunghezze d'onda, le diremo *onde pari*.

Nel punto ove due onde del medesimo nome si incontrano, la differenza delle lunghezze

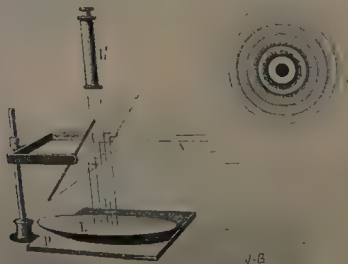



Fig. 39?. — Assetto che dà gli anelli di Newton sotto l'incidenza normale.

percorse dal movimento vibratorio è eguale ad un numero pari di semilunghezze d'onda, i loro movimenti si sommano, in quei punti vi ha rinforzo. Si chiamano *ventri di vibrazione* od anche *frangie di spostamento massimo*. Pei punti di incontro di due onde di nome contrario, la differenza di cammino, che non è altro che la differenza dei raggi di quelle onde, è eguale ad un numero dispari di semilunghezze d'onda; per conseguenza in quei punti i movimenti recati dalle due onde si sottraggono.

Tali punti si dicono *nodi di vibrazione* od anche *frangie di spostamento minimo*. Si vedono sulla figura certe curve ombreggiate che racchiudono i ventri; le parti chiare intermedie sono i nodi. Il sistema delle frangie si manifesta ai nostri sensi sotto diverse forme secondo la grandezza del periodo del movimento vibratorio delle sorgenti sincrone e la natura del mezzo vibrante.

Con codesto modo di rappresentazione il *principio delle interferenze* si enuncia:

L'incontro di due onde del medesimo nome produce una vibrazione massima.

L'incontro di due onde di nome contrario produce in quella vece un movimento minimo: una interferenza.

È agevole il dimostrare direttamente quei fatti per mezzo del suono.

Il suono prodotto dal diapason D nel risuonatore R (fig. 396) si propaga lungo i tubi T e T_1 ed i movimenti vibratorii si sovrappongono al loro uscire dall'apparecchio. Ritirando più o meno il tubo T, che è scorrevole, si fa variare la differenza delle lunghezze percorse dalla vibrazione partita da R. Allorchè la differenza di cammino delle vibrazioni che passano in T ed in T' è eguale ad un numero pari di volte la semilunghezza d'onda del suono che corrisponde al diapason D, si produce all'uscita una vibrazione massima; lo spostamento delle molecole d'aria è invece nullo quando la differenza di cammino $T\ T'$ è eguale ad un numero dispari di semilunghezze d'onda del suono emesso dal diapason D. Questi fatti si ponno verificare, sia

Supponiamo che la luce risulti altresì da un movimento vibratorio periodico trasmettentesi come il suono, per onda, e con una velocità costante, mercè l'esistenza di un mezzo che la propagazione della luce negli spazii interplanetarii rende necessario e che viene chiamato *etere*. Ciò ammesso, è agevole spiegare le frangie d'interferenza: il ragionamento è il medesimo di quello fatto poc'anzi. Nell'esperienza dei due specchi le frangie oscure si produrranno evidentemente sullo schermo

Fig. 394.
Frangie e cerchi ottenuti nell'esperimento dei due fori di Young. Interferenza e diffrazione.

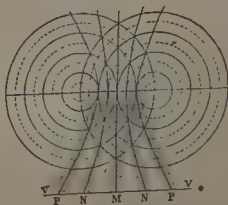



Fig. 395.
Rinforzo della vibrazione nei punti di incontro di due onde del medesimo nome.
Interferenza nei punti di incontro di due onde di nome contrario.

in tutti i punti p, tali che la differenza delle distanze S_1p ed S_2p sia eguale ad un numero dispari di volte la semilunghezza d'onda che

---

facendo arrivare il tubo di uscita nell'orecchio, sia facendo uso di una capsula manometrica (Vedi pag. 197).

In questa guisa si ottiene pur anche una misura della lunghezza d'onda e per conseguenza della velocità del suono, dato che si conosca il periodo del suono emesso.

Aggiungasi che il suono si riflette secondo la medesima legge cui obbedisce la luce. Se, a cagione d'esempio, si dispongono due specchi sferici dirimpetto uno all'altro (fig. 397), si sente distintamente il tic-tac di un orologio collocato nel foco dello specchio *A* segnato con un piccolo canestro, quando si apposta l'orecchio nel foco del secondo specchio. La riflessione delle onde sonore sopra ostacoli produce il ben noto fenomeno dell'*eco*.

Il colonnello Nicola Savart e Seebek riconobbero che le onde, dirette interferiscono colle onde riflesse, per esempio, da un muro verticale.

L'imagine virtuale della sorgente sonora si produce nel punto simmetrico della sorgente rispetto al muro come nel caso della luce: *quella appare il centro virtuale delle onde riflesse*. Considerando la sorgente e la sua imagine, vibranti simmetricamente, come invianti onde concentriche, il principio delle interferenze permette di indovinare ove si formeranno i nodi ed i ventri, *a condizione di aggiungere una semilunghezza d'onda al raggio dell'onda riflessa che si considera*. Quella semilunghezza d'onda aggiunta, indica che si tratta di onde riflesse e non di onde direttamente emanate dall'imagine della sorgente sonora.

Il medesimo principio delle interferenze spiega come un tubo chiuso non possa parlare, rinforzare un suono, che a condizione di avere una lunghezza eguale ad un numero dispari di volte $\frac{\lambda}{4}$, mentre un tubo aperto alle due estremità, parla sotto l'eccitazione dei suoni il cui quarto di lunghezza d'onda è contenuto un numero pari di volte nella lunghezza del tubo. Le interferenze prodotte dalle onde dirette e dalle onde riflesse all'altra estremità del tubo, producono nodi equidistanti di $\frac{\lambda}{2}$ e di ventri dividenti in due parti eguali l'intervallo presentato dai nodi consecutivi. Fa mestieri, perchè il tubo parli, che questa divisione possa effettuarsi.

Sono pure interferenze quelle che producono i punti immobili, i nodi delle corde in vibrazione; al ventre lo spostamento è massimo (fig. 398).

corrisponde alle sorgenti vibranti S_1 ed S_2, il che si scrive in abbreviatura: $S_1p - S_2p = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$, e le frangie brillanti ai punti p' per le quali si ha:

$$S_1p' - S_2p' = 2n\frac{\lambda}{2}.$$

Al punto centrale C la differenza delle percorrenze S_1 ed S_2 è nulla: deve dunque prodursi in quel punto una frangia brillante, qualunque sia il periodo delle vibrazioni di S_1 e di S_2.

Per esempio, la decima frangia brillante che segue la frangia centrale è lontana da questa di una distanza che è facile misurare in lunghezze d'onda, poichè per quella frangia $S_1p - S_2p = 20\frac{\lambda}{2}$.

Siccome poi d'altra parte si può misurare la lunghezza Cp in cen-

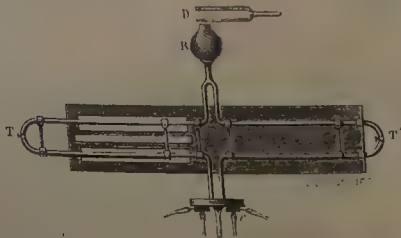



Fig. 390. — Apparecchio di Kœnig mediante il quale si ponno ottenere facilmente il rinforzo e l'interferenza di due sistemi di onde sonore.

timetri o frazioni con la lente di Fresnel, si ha così un mezzo di misurare, λ lunghezza d'onda della luce inviata da S.

Se V è la velocità della luce nel mezzo ove si propagano le onde e pel quale si è determinato λ (1), si calcolerà il periodo del movimento

(1) La luce fu per lungo tempo considerata come propagantesi da un punto all'altro istantaneamente. Roemer per il primo fece conoscere un valore approssimativo della sua velocità di propagazione. Il metodo applicato all'Osservatorio di Parigi nel 1675 dall'astronomo danese è semplicissimo. Eccone il principio: nella figura 898, il Sole è in S, la Terra in T sulla sua orbita, e Giove in J.

Se un osservatore, quando la Terra è in T (opposizione) conta gli istanti nei quali il primo satellite di Giove esce dall'ombra che il pianeta projetta dietro di sè, trova che quegli istanti sono separati da un lasso di tempo costante ed eguale a 41 ore e 30 primi. Allora avendo un cronometro regolato in guisa che la sua lancetta avanzi di una divisione ogni 42 ore e mezza, questa segnerà nei suoi passaggi sulle divisioni le emersioni del satellite E osservate in T. Mano mano che la Terra si avvicina a T (congiunzione), gli istanti delle emersioni osservate ritardano sempre più su quelli indicati dal cronometro. In T quel ritardo arriva a 986 secondi, poi diminuisce ed il cronometro ritorna a dare le indicazioni esatte quando la Terra è ritornata in T. Roemer spiegò quei fatti ammettendo che la luce si propaghi con velocità finita. Se essa non arriva in T', per esempio, che 986 secondi dopo essere passata in T, ciò si-

vibratorio di S colla formula $\lambda = VT$ che definisce la lunghezza dell'onda. Per l'irradiazione media dello spettro, si ha nel vuoto $\lambda = 0^{mm},0005$

gnifica che le è mestieri di quel tempo per attraversare l'orbita terrestre, ossia 300 milioni di chilometri. il che dà per la distanza percorsa in un secondo all'incirca 320 000 chilometri
Nel 1726, Bradley dovette adottare un numero vicino al precedente per spiegare il fenomeno della aberrazione astronomica. La luce si propaga dunque circa un milione di volte più

Fig. 307. — Esperienza dei due specchi sferici. Riflessione delle onde sonore.

rapidamente del suono, e farebbe otto volte il giro della terra in un secondo. Fu solo nel
1849 che Fizeau pervenne a misurare la velocità della luce con un metodo totalmente fisico.
A Suresnes (fig. 400) una lente acromatica ed un vetro trasparente s inclinato a 45°, davano in f l'imagine di un foro M fortemente illuminato. Una lente, il cui foco coincideva con f, riceveva i raggi usciti da quel punto e li rendeva al loro uscire paralleli all'asse ottico diretto sopra una casa di Montmartre situata ad una distanza di 8633 metri. In quel punto una lente faceva convergere i raggi incidenti sopra uno specchio che li rimandava a Suresnes per la medesima strada. Una parte dei raggi attraversando nel ritorno il vetro s faceva scor-

Fig. 308. — Nodi e ventri presentati da una corda in vibrazione assicurata ai due capi.

gere all'osservatore il punto luminoso f. Quell'osservatore, mercè l'assetto adottato, non era per nulla incomodato dalla luce incidente emanata da M.
Una ruota verticale r, munita di denti e di vuoti eguali, era disposta in guisa che l'imagine f venisse a formarsi nella parte dentata del piano della ruota.
Mettasi la ruota in rotazione, che cosa succederà? Si scorgeranno alternativamente i vuoti che lasciano vedere il punto f ed i denti che lo nascondono. Data una velocità sufficiente, le impressioni relative ai denti ed ai vuoti si sovrappongono e producono una zona grigia intorno ai denti della ruota; d'altra parte la sovrapposizione delle impressioni prodotte sulla retina dai passaggi dei singoli vuoti dinanzi ad f, fa vedere quel punto in modo permanente.
Se la velocità della ruota diviene sufficiente perchè un dente possa sostituirsi esattamente ad un vuoto nel tempo che la luce mandata da M, allorchè passa un vuoto, arriva a Montmartre e ritorna a Suresnes, vale a dire percorre 17 266 metri, essa sarà intercettata al ritorno dal dente, ed il punto f non sarà più veduto. Ha luogo una *prima estinzione*.
Conoscendo per mezzo della velocità di rotazione della ruota, indicata da un contatore di

e siccome $V = 300\,000$ chilometri, si ha $T = \frac{1}{6} \times \frac{1}{100\,000\,000\,000\,000}$
ed il numero delle vibrazioni eseguite dalla sorgente in un secondo

giri, il tempo che impiega un pieno a sostituirsi ad un vuoto, si ha sul momento la velocità di propagazione della luce, poichè quel tempo è precisamente eguale a quello che impiega la

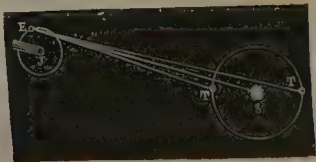



Fig. 399. — Determinazione della velocità di propagazione della luce per mezzo delle osservazioni degli eclissi e delle emersioni del 1° satellite di Giove (Rœmer).

luce a percorrere 17 266 metri, tragitto dell'andata e del ritorno da Suresnes a Montmartre. Fizeau trovò con quel metodo che la luce percorre in un secondo 315 000 chilometri.

Se si imprime alla ruota una velocità di rotazione doppia di quella che corrisponde alla prima estinzione, il punto luminoso *f* ricompare per scomparire di bel nuovo quando la velo-

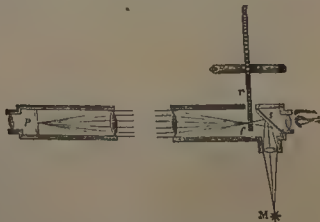



Fig. 400. — Metodo fisico di Fizeau per la determinazione della velocità di propagazione della luce.

cità diventa tripla, ecc. Sarà bene effettuare la misura della velocità della luce per mezzo di estinzioni d'ordine sempre più alto, e di prendere la media dei risultati.

Cornu ripetè le esperienze di Fizeau dal 1871 al 1874, studiandosi con ogni cura di ottenere colla massima precisione la velocità della ruota ad ogni istante. A tal scopo un dente produceva un uncinetto nella linea di inscrizione del movimento della ruota, ogni qual volta essa faceva un giro. Di fianco a quella linea, nella quale due uncinetti consecutivi segnavano la durata del giro di ruota corrispondente, si inscrivevano i secondi ed i decimi di secondo. In tal guisa, la velocità della ruota era conosciuta esattamente ad ogni estinzione. Nei suoi esperimenti fra la Scuola politecnica ed il monte Valérien (10 310 metri), Cornu si spinse sino alla decima estinzione. Egli trovò per la velocità della luce 298 500 chilometri. Prendendo come stazione Montlhéry e l'Osservatorio (22 910 metri) si spinse sino alla ventunesima estinzione e trovò per la velocità della luce 300 400 chilometri.

Dietro consiglio d'Arago, Foucault, sin dal 1850, si studiò di determinare la velocità della luce servendosi di uno spazio di pochi metri. Il principio del metodo consiste nel far cadere un raggio luminoso sopra uno specchio piano poi sopra uno specchio sferico avente il suo centro sull'asse di rotazione dello specchio piano. Se mentre la luce ha percorso il doppio del

(la sua altezza) è eguale a $\frac{1}{T}$ ossia a 600 trilioni. Il tatto è sensibile sino a 100 vibrazioni per minuto secondo, e l'orecchio sino a 100 000.

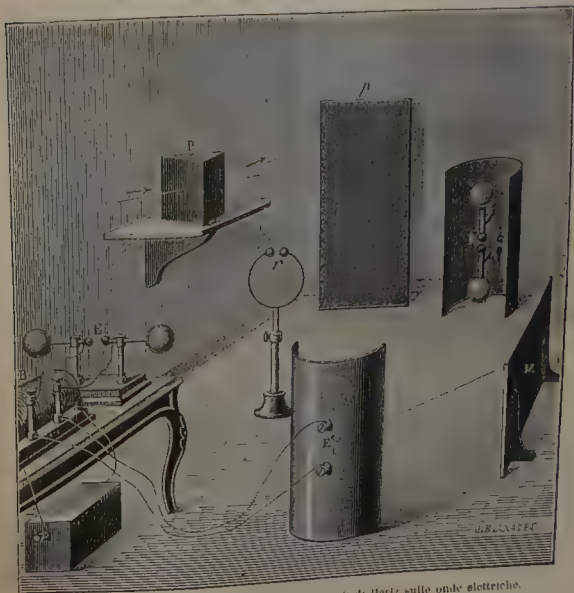



Fig. 101. — Disposizione generale degli esperimenti di Hertz sulle onde elettriche.

---

raggio dello specchio sferico, lo specchio piano ha girato di un certo angolo, esso riflette il raggio di ritorno in una direzione che fa col raggio incidente un angolo doppio di quello di cui ha girato lo specchio piano. La misura di quell'angolo, del raggio dello specchio sferico e della velocità di rotazione dello specchio piano, conduce immediatamente al valore della velocità della luce. Foucault trovò 298 000 chilometri.

In America, Michelson, applicando il medesimo metodo ed amplificando notevolmente la corsa della luce prima del suo ritorno sullo specchio piano, ha ottenuto:

Nel 1879: 299 910 chilometri.
Nel 1882: 299 852 chilometri.

D'altra parte Newcomb, nel 1882, diede il numero 299 860 chilometri. Foucault, interponendo un tubo pieno d'acqua sul doppio tragitto del raggio, potè dimostrare che la luce si propaga più lentamente nell' aria che nell'acqua, fatto conforme alla teoria delle ondulazioni ed in contradizione colla teoria dell'emissione di particelle luminose da parte delle sorgenti.

La teoria dimostra che basta dividere la velocità della luce nel vuoto per l'indice di rifrazione, rispetto al vuoto, di un mezzo trasparente qualunque, per conoscere la velocità colla quale la luce si propaga in quel mezzo.

L'occhio è sensibile sino a circa 800 trilioni di vibrazioni per secondo.

L'esperienza dimostra che le vibrazioni di una sorgente come sarebbe S si conservano identiche a sè medesime nel corso di un gran numero di periodi.

Gli anelli di Newton si spiegano parimente per mezzo della *differenza di percorso* dei raggi che si sovrappongono al loro uscire dopo essersi riflessi, l'uno sopra un piano P, l'altro sullo strato d'aria vicino alla faccia inferiore della lente: la differenza di percorso dei due raggi è eguale al doppio dello spessore della lamina d'aria fra i punti ove si producono le riflessioni. Ovunque quello spazio sarà eguale a $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$ avverrà interferenza, ovunque sarà eguale a $2n\frac{\lambda}{2}$ la frangia avrà il massimo splendore.

Tuttavia per spiegare completamente le apparenze del fenomeno, è necessario aggiungere alla differenza di percorso una semilunghezza di onda quando il raggio si riflette sopra un mezzo più denso di quello che aveva attraversato da prima. È una nuova analogia fra i fenomeni luminosi ed i fenomeni sonori, poichè questi richiedono la medesima addizione di una semilunghezza d'onda, quando si vuole che la teoria assegni ai nodi ed ai ventri delle vibrazioni, provenienti dall'interferenza delle onde incidenti e delle onde riflesse sopra un ostacolo, le posizioni medesime indicate dall'esperienza diretta.

Per mezzo degli anelli si può agevolmente determinare la lunghezza di onda della luce che li ha prodotti.

I fenomeni di diffrazione possono del pari essere calcolati in tutti i casi, convenendo con Huygens di sostituire alla sorgente S una delle onde, e, seguendo l'esempio di Fresnel, di calcolare l'effetto prodotto in un punto dello schermo (esterno all'onda), come se ogni elemento dell'onda fosse una sorgente vibrante del medesimo periodo di S (1).

Si spiega la simmetria di proprietà che presenta un raggio polarizzato rispetto al suo piano di polarizzazione ed al piano perpendicolare, considerando le vibrazioni dell'etere incontrato dal raggio come *rettilinee* o *trasversali*, vale a dire orientate perpendicolarmente alla loro direzione di propagazione. Si considerano come effettuantisi perpendi-

---

(1) Un caso di diffrazione, assai importante dal punto di vista pratico, si verifica quando si fa cadere un fascio di luce proveniente da un collimatore sopra una lamina di vetro sulla quale furono tracciate col diamante linee sottilissime ed estremamente vicine: quelle linee sono opache. Se si tratta della luce solare, essa viene dispersa dalla lamina così preparata e che si chiama *reticolo*. A destra ed a sinistra della direzione del fascio incidente appajono simmetricamente spettri, i quali si stendono sempre più gli uni sugli altri a mano a mano che si allontanano da quella direzione. Il violetto per esempio è il colore meno deviato, mentre negli spettri dati da un prisma è il più; d'altra parte gli spettri prismatici non sono comparabili quando si cambia la sostanza del prisma mentre gli spettri dei reticoli sono affatto indipendenti dalla sostanza che forma la rete; le loro dimensioni, la distribuzione delle loro irradiazioni dipende unicamente dall'intervallo occupato da una linea del reticolo e dal vuoto consecutivo.

Per tale ragione furono chiamati ***spettri normali***.

Gli è col sussidio di tali spettri che si misurò la lunghezza d'onda di tutte le irradiazioni visibili ed invisibili. Si ponno parimente ottenere reticoli per riflessione sopra specchi metallici portanti linee equidistanti. Le ali di certi insetti sono coperte di striature che funzionando come reticoli fanno loro assumere splendide iridescenze. Altre son colorate per interferenza, come le bolle di sapone.

colarmente al piano della sezione principale del polarizzatore nel raggio ordinario, e parallelamente a quel piano nel raggio straordinario. Perciò *il polarizzatore non lascia passare che le vibrazioni orientate perpendicolarmente o parallelamente alla sezione principale.* Ora l'analizzatore non differisce in nulla da un polarizzatore; si concepisce dunque immediatamente che esso arresterà le vibrazioni del raggio ordinario allorchè la sua sezione principale sarà parallela a quella del polarizzatore, e che in quella posizione il raggio passerà senza indebolirsi. Avverrà il contrario quando le sezioni principali del polarizzatore e dell'analizzatore saranno ad angolo retto. Nelle posizioni intermediarie è il raggio ordinario che domina allorchè l'angolo delle sezioni principali dei due romboedri è superiore al semiretto (45°): nel caso contrario sarà dominante il raggio straordinario: i due raggi passano con intensità eguale allorchè le due sezioni principali formano un angolo di 45°.

Come mai si potrà spiegare la polarizzazione cromatica in luce parallela?

La vibrazione rettilinea, per esempio, del raggio ordinario mandato

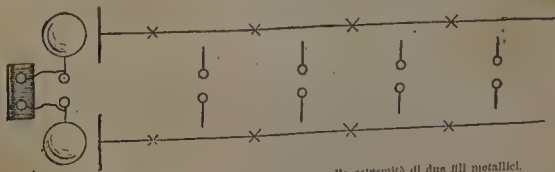



Fig. 402. — Interferenza di onde dirette e riflesse sulle estremità di due fili metallici.

dal polarizzatore, è decomposta dalla lamina in due vibrazioni che sono rispettivamente dirette secondo le sezioni principali della lamina. Quelle due vibrazioni si propagano con velocità ineguali attraverso la lamina cristallina e si ricompongono all'uscita, presentando fra esse una *differenza di fase* che dipende dalla lunghezza d'onda della irradiazione considerata, dallo spessore e dalla natura specifica della lamina.

Per le diverse irradiazioni dello spettro la vibrazione, restituita all'uscita della lamina, non avrà più la medesima forma. Sono ellissi di grandezza e d'orientazione diverse, circoli o linee rette. Perciò diessi di sovente in modo generico che la lamina polarizza la luce *ellitticamente.*

Quelle vibrazioni diverse cadono sull'analizzatore che estrae da ciascuna di esse le componenti parallele o perpendicolari alle sue sezioni principali. Per conseguenza le diverse irradiazioni non sono guari estinte nella stessa proporzione dall'analizzatore, e quelle che rimangono in quantità più grande danno, mescolandosi, la tinta osservata sul fascio che esce dall'analizzatore. Infatti, ricevendo quella luce sopra un prisma si vede che lo spettro ottenuto è solcato da liste nere che segnano il posto delle vibrazioni spente; per converso, i colori la cui

miscellanea costituisce la tinta della lamina cristallina osservata, sono distribuiti sullo spettro nell'ordine della loro rifrangibilità.

Egli è chiaro che facendo ruotare l'analizzatore, le irradiazioni estinte non saranno più le medesime e per conseguenza si veggono spostarsi le scanalature dello spettro. Gli anelli osservati in luce convergente si spiegano con analoghe considerazioni.

Non insisteremo più a lungo su queste interessanti questioni di teoria: esse esigerebbero sviluppi troppo astratti. Noi volevamo unicamente farne afferrare il concetto.

Mercè gli sforzi di Fresnel, tutti i fenomeni ottici sono stati spiegati con semplici considerazioni meccaniche, nei particolari delle quali non possiamo addentrarci (1).

È lo studio del suono, sperimentalmente accessibile nella sua causa, quello che fa sopratutto comprendere le teorie ottiche.

Il suono si riflette, si rifrange, interferisce. Tutte le particolarità di quei fenomeni sono state chiarite, dal momento che fu ben nota l'origine e la maniera come il suono si propaga. Ammettendo che l'origine e la propagazione della energia luminosa abbiano la medesima natura meccanica che ha l'energia sonora, si è in caso di rendersi ragione di tutti i fenomeni osservati, completando per altro il sistema con considerazioni particolari a ciascun ordine determinato di fatti.

Le irradiazioni calorifiche e chimiche si comportano in tutti i casi come le irradiazioni luminose, dalle quali non sono punto distinte; esse si riflettono, si rifrangono, si polarizzano ed interferiscono nei medesimi punti di quelle, e seguono le medesime leggi.

L'energia vibratoria, sonora, luminosa, calorifica, ecc., si propaga dunque per onde e non già, come si credette per lungo tempo appoggiandosi all'autorità di Newton, a guisa dei projettili che vanno a portare l'energia di un esplosivo nel punto colpito.

Recentemente Hertz ha mostrato, che per mezzo di una disposizione opportuna, si poteva obbligare anche l'*energia elettrica* a propagarsi nello spazio per onde. Egli seppe ottenere la *riflessione, la rifrazione, l'interferenza delle onde elettriche*, ecc.

Prendiamo, come fece Hertz, due sfere metalliche di 30 centimetri di diametro e colleghiamole con un'asta metallica dritta lunga un metro.

---

(1) I mezzi come l'aria, l'acqua, il vetro, ecc. sono *isotropi*, vale a dire godono le medesime proprietà in tutte le direzioni.

Non è quindi da stupire se in essi le vibrazioni si propagano colla medesima velocità in tutte le direzioni intorno alla sorgente ed arrivano nel medesimo istante in punti situati sopra una sfera che ha il suo centro nel punto ov'è la sorgente. In poche parole, *in un mezzo isotropo, le onde sono sferiche*. Se la sorgente comprende parecchi punti vibranti, Huygens prende come onda la superficie che tocca tutte le onde sferiche relative ai diversi punti nella posizione che esse occupano nel medesimo istante (pag. 61): è *l'onda avviluppante*.

Abbiamo veduto che tagliando lamine eguali in un unias-se, in un cristallo di spato di Islanda, per esempio, esse si comportano diversamente — sebbene messe in condizioni identiche — a norma della loro inclinazione sull'asse del cristallo. La vibrazione non si propaga più colla medesima velocità in tutti i sensi, e la superficie d'onda — complesso dei punti ove arriva la vibrazione nel medesimo istante — non è più una sfera. Huygens ha dedotto da considerazioni sperimentali che essa era formata da una sfera e da un ellissoide di rivoluzione intorno all'asse del cristallo. La sfera è l'onda ordinaria che corrisponde al raggio ordinario, l'altro corrisponde al raggio straordinario.

Nel caso di sostanze cristalline non uniassi, la superficie d'onda è ancora più complessa. Fresnel mediante ingegnose considerazioni meccaniche ne ha assegnato la forma ed ha spiegato tutte le particolarità presentate dalla doppia rifrazione in quelle sostanze.

Supponiamo che una di quelle due sfere sia carica di elettricità positiva e l'altra di elettricità negativa, e che le cause che tengono separate quelle due elettricità cessino subitaneamente dall'agire. Le due elettricità si combineranno, ma la corrente così sviluppata si prolungherà oltre a quella combinazione, e sulle due sfere creerà cariche contrarie a quelle che esse presentavano poco prima; quelle cariche provocheranno una nuova scarica in senso opposto, e così via: quindi si produrrà fra le due sfere una specie di *oscillazione elettrica*. Abbiamo adoperato l'antico linguaggio, ma con Faraday e Maxwell (1) diremo piuttosto che lo stato elettrico dell' etere che avvolge le due sfere subisce modificazioni alternative; ciò che v'ha di certo si è che si produce un movimento di va e vieni nelle condizioni elettriche del sistema, e che l'assetto ora considerato costituisce una specie di *diapason elettrico* (2).

Ma perchè un simile diapason vibri costantemente, fa mestieri che l'azione eccitatrice si produca o cessi in una guisa sufficientemente istantanea e si riproduca periodicamente ad intervalli di tempo bastantemente brevi. A ciò si perviene tagliando alla metà l'asta di comunicazione, ed adattando (fig. 401) a ciascuno dei due capi così separati una palla di metallo brunito di 4 centimetri di diametro, e collegando quelle due palle ai due poli di un rocchetto di induzione *B*; allora le oscillazioni del *diapason elettrico*, che indicheremo col nome di *conduttore primario*, si producono ad ogni scarica. Le scariche oscillanti, così ottenute, e delle quali si occuparono anche sir W. Thomson, Lodge, ed altri, possono avere periodi estremamente brevi, se le cose furono assestate a dovere. Il diapason elettrico che abbiamo testè descritto dà più di 50 milioni di oscillazioni in un secondo. Hertz potè giungere ad ottenerne persino 500 milioni in un minuto secondo.

Per rendere sensibili nello spazio circostante le oscillazioni così mantenute, Hertz ricorse all'induzione che esse producono in un altro conduttore *r* formato con un filo di rame di 75 centimetri di diametro curvato a cerchio, e che presenta una interruzione che è facile ridurre ad un intervallo minimo per mezzo di una vite micrometrica. Quel conduttore si chiama *conduttore secondario*. Ove lo si ponga nelle vicinanze del conduttore primario in seno all'aria, e senza alcuna relazione metallica con questo, attraverso l'interruzione saltano scintille di scarica che corrispondono a quelle del conduttore primario. La lunghezza delle scintille varia da 7 centimetri a zero a norma della posizione data al conduttore secondario.

« Da principio, dice Hertz, fui molto meravigliato nel vedere che si producevano scintille assai spiccate nel conduttore secondario, anche quando esso si trovava distante 1 o 2 metri dal conduttore primario; ma la meraviglia si mutò in stupefazione allorchè riuscii in un salone ad ottenere scintille a 15 metri di distanza. A distanze sì grandi le scintille sono piccolissime e visibili solo nel bujo. »

(1) Clerck Maxwell (Giacomo) dotto fisico inglese, nato nel 1831, morto a Cambridge il 5 novembre 1879, membro della società reale di Londra, autore delle opere seguenti: il *Magnetismo e l'Elettricità*, le *Linee di forza di Faraday*, *Teoria dinamica del campo magnetico*, ecc.

(2) *Ricerche sulle ondulazioni elettriche*, per Enrico Hertz (*Revue scientifique*, 11 maggio 1889).

Se si interpone fra il diapason elettrico ed il conduttore secondario, chiamato anche *risuonatore elettrico*, una parete formata da una sostanza isolante, si ottengono sul risuonatore scintille come quando manca la parete; ma se questa è conduttrice, e formata per esempio da un grande foglio di zinco, l'azione del diapason è arrestata, ed il risuonatore rimane inattivo. Lo schermo conduttore si porta dietro un' *ombra elettrica*. E siccome, per converso, conduttori collocati nelle vicinanze del risuonatore non ne arrestano la marcia, si può dire che l' azione elettrica emanata dal diapason elettrico si propaga in linea retta.

Con un diapason elettrico formato di due tubi eguali di ottone lunghi 13 centimetri e col diametro di 3 centimetri, collegati rispettivamente ai due poli di un piccolo rocchetto di induzione, ed un risuonatore costituito da un filo dritto di 1 metro di lunghezza, munito nel mezzo di un piccolo eccitatore, Hertz riconobbe che nelle condizioni ordinarie il risuonatore funzionava sino alla distanza di 2 metri e non più, dal diapason elettrico.

Se il diapason elettrico E' viene disposto secondo la linea focale di un cilindro parabólico di zinco di 2 metri di altezza sopra uno di apertura, la sua azione sul risuonatore si fa sentire sino a 10 metri di distanza: il cilindro fa realmente l'ufficio di *projettore elettrico*. Finalmente collocando (fig. 401) il risuonatore R secondo l'asse focale di un secondo cilindro simile al primo e messogli di fronte, si osserva che il risuonatore agisce sino alla distanza di 20 metri. Sostituendo al diapason elettrico una sorgente sonora od una sorgente luminosa, si notano fenomeni del medesimo ordine. Se i piani di simmetria dei due cilindri formano tra loro uno stesso angolo, per mettere in azione il risuonatore basterà disporre un piano metallico M secondo la linea di intersezione dei due piani simmetrici, ed inclinato in egual modo su quei piani.

Si è dunque in diritto di dire, servendosi del frasario dell'acustica e dell'ottica, che il diapason elettrico è il centro *di onde elettriche* che si propagano attraverso lo spazio, e che gli angoli formati colla normale dai raggi incidenti e dai raggi riflessi sono eguali.

Per porre in evidenza la *rifrazione dei raggi elettrici*, Hertz fece costruire un grande prisma di asfalto P, il cui angolo rifrangente aveva 30° e le cui faccie erano alte metri 1,50 e larghe metri 1,20. Il fascio elettrico riflesso dallo specchio cilindrico portatore del diapason elettrico fu diretto sopra una delle faccie del prisma fra diaframmi metallici in guisa da impedire che il raggio posasse a fianco del prisma. Lo specchio cilindrico secondario, situato nel prolungamento del fascio incidente, non dava scintille, ma spostandolo gradatamente verso la base del prisma, giunse un momento in cui le scintille si produssero di bel nuovo: la rifrazione era allora di 22° circa.

Hertz, facendo riflettere le onde elettriche provenienti da E sopra uno specchio piano di zinco p, riconobbe altresì che in certi punti equidistanti, il risuonatore r era muto, e ad eguale distanza di due di quei punti dava un numero massimo di scintille.

Questo è un vero fenomeno di *interferenza elettrica* che fornisce nodi e ventri elettrici.

Si vede (fig. 402) la posizione dei nodi segnati con croci, e dei ventri indicati colle due palle vicine del risuonatore lungo due fili condut-

tori paralleli di 10 a 20 metri di lunghezza, che presentano alle sfere del diapason elettrico le piastre metalliche che tengono alle estremità. Quelle interferenze sarebbero prodotte dalle onde dirette e dalle onde riflesse sulle estremità dei fili tesi.

Hertz è pur riuscito ad ottenere fenomeni analoghi a quelli che presenta la luce polarizzata. Supponiamo che i due specchi cilindrici della figura 400 sieno disposti ad angolo retto: in questo caso non si verifica la comparsa di scintille sul conduttore secondario e vi ha estinzione. Ma se sul tragitto delle onde si colloca una cornice portante fili metallici tesi parallelamente ed inclinati di 45° sui piani di simmetria dei due specchi, le scintille saltano fra le palle dell'eccitatore secondario. È un fenomeno analogo a quello della polarizzazione cromatica.

Si vede da tutto ciò che l'analogia fra le *onde elettriche* e le *onde luminose* si estende sino ai minimi particolari.

Essa indusse Hertz a concludere che i *fenomeni luminosi* non sono che una manifestazione particolare dei *fenomeni elettrici:* essi proverrebbero da vibrazioni di periodo brevissimo, brevissimo anche in rapporto al periodo delle vibrazioni ottenute da Hertz col suo diapason elettrico.

« Perciò, disse Hertz nella conferenza sull'*analogia della luce e dell'elettricità*, tenuta al congresso di Heidelberg nel 1889, l'ottica non è più che un'appendice della elettricità. Questa ci guadagna ancora ben molto. Noi vediamo ormai l'elettricità in mille circostanze ove prima non la sospettavamo neppure. Ogni fiamma, ogni atomo luminoso, diventa un fenomeno elettrico. Un corpo anche quando non ispande luce, purchè irradii calore, è il focolare di azioni elettriche. Il dominio della elettricità si stende dunque su tutta la natura. »

Fig. 404. — Manometro metallico.

CAPITOLO II.

SULLA MISURA DELLE GRANDEZZE FISICHE IN GENERALE. GRANDEZZE ELETTRICHE.

Per comprendere lo spirito del sistema di misura oggidì impiegato dai fisici, per coglierne la profonda armonia, è necessario seguire passo per passo, in una rapida rivista, i progressi di esse misure e l'origine delle nozioni che le resero necessarie.

I risultati ottenuti su questa via vengono da tutti i punti dell'orizzonte scientifico. È sul terreno della misura che sopratutto si afferra la mutua dipendenza delle scienze ed il loro grado di complicazione. L'Elettricista è in obbligo di prendere ad imprestito da tutte le scienze; ne comprenderemo più innanzi la ragione.

Le *misure elettriche* rappresentano una vera sintesi di tutte le cognizioni scientifiche attuali.

Fu evidentemente la considerazione delle *unità naturali:* uomo, bove, albero... ecc., che condusse alla nozione del numero.

Il numero è ad un tempo una parola ed un simbolo che caratterizzano ciascuno dei gruppi che si possono formare col mezzo delle unità naturali.

Il più semplice fra quei gruppi, il punto di partenza di tutti, contiene la sola *unità;* il secondo si ottiene introducendo nel precedente una nuova unità naturale della medesima specie o di specie diversa (fig. 405). Tale è la legge generale di formazione dei gruppi successivi.

Il loro ordine è indicato colle parole: uno, due, tre, quattro... ecc., ed è figurato così: 1, 2, 3, 4... ecc.

Questa stessa indicazione degli ordini successivi dei gruppi ottenuti, costituisce precisamente i *numeri astratti* il cui studio forma l'oggetto della scienza matematica più elementare: l'aritmetica.

Quando i gruppi, le collezioni, contengono oggetti della medesima specie — per esempio alberi — si fa seguire il nome che fissa l'or-

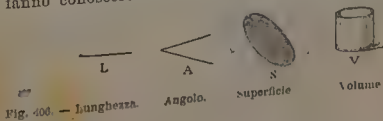
Fig. 405 — Unità naturali. Formazione di gruppi successivi

dine di ogni gruppo da quello della specie particolare di unità che si considera.

Si ottiene così ciò che dicesi un *numero concreto*.

Un albero, due alberi, tre alberi... ecc., sono numeri concreti.

Essi fanno conoscere ciascuno dei gruppi in modo completo; in altre

Fig. 406. — Lunghezza. Angolo. Superficie. Volume.

parole essi ne misurano la grandezza, *comparativamente a quella*, supposta perfettamente nota, dell'Unità naturale della specie che si prende a considerare.

L'attenta osservazione del mondo esterno ha poi condotto a grandezze per le quali non esistono punto unità naturali.

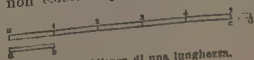



Fig. 407. — Misura di una lunghezza.

Alla forma degli oggetti si collegano per esempio le nozioni di linea o *lunghezza* L, d'*angolo* A, di *superficie* S, di *volume* V, il cui studio forma l'oggetto della geometria (fig. 406).

La misura di siffatte grandezze offre difficoltà speciali: non solo fa d'uopo fare la scelta della grandezza-unità che deve servire di termine

di paragone, ma bisogna pur anco *definire ed eseguire l'esperimento di paragone.*

Si tratta, per esempio, di misurare una lunghezza oc (fig. 407) per mezzo della lunghezza unità ab; si stabilisce di portare la lunghezza ab in seguito a sè stessa sopra oc tanto volte quanto è necessario per coprire esattamente oc. Se 5 unità ab bastano all'uopo si dice che la lunghezza oc è eguale a 5 volte la lunghezza ab, o più brevemente

$$oc = 5\, ab.$$

5 è la misura di oc effettuata per mezzo dell'unità ab.

Che cosa succede se si cambia l'unità, se per misurare la lunghezza oc si prende, per esempio, un'unità $a'b'$ contenuta dieci volte in ab, vale a dire tale che la misura di ab, effettuata con quella nuova unità, sia 10?

È evidentissimo che il numero al quale conduce in tal caso la misura vale 10 volte il numero 5 ottenuto con ab.

$$oc = 5\, ab = 50\, a'b'.$$

Come si vede, un numero in quanto a misura non ha senso, se non quando gli si aggiunge per definirlo l'unità che lo ha fornito.

Generalmente, per non dire sempre, l'esperimento di misura è meno semplice di quanto si pensi. Dopo aver portato un certo numero di volte su oc l'unità ab, resta una porzione cd più corta di ab. Come si valuterà quella parte residua? Si procederà così: si divide l'unità in parti eguali sempre più piccole che si chiamano *sottomultipli* della unità primitiva, e si cerca, con un'*operazione di ricoprimento*, quanti sottomultipli di un certo ordine contenga cd: se, per esempio, ab è diviso in mille parti eguali e se cd contiene tre di quelle parti, si dice che cd vale tre millesimi dell'unità, e quel numero si scrive $\frac{3}{1000}$ oppure 0,003. Ecco l'origine della *frazione*. In fine dei conti si ha:

$$oc = 5\, ab + \frac{3}{1000}\, ab = 5{,}003\, ab.$$

Quando si effettua materialmente la misura è spesso impossibile di vedere se cd contiene piuttosto 3 che 4 degli scelti sottomultipli: si vede semplicemente che cd è un po' più grande di 3 ed un po' più piccolo di 4 di quelle parti situate una presso l'altra.

Si può scrivere con altrettanta certezza l'una o l'altra delle seguenti eguaglianze:

$$oc = 5{,}003\, ab.$$

$$oc = 5{,}004\, ab.$$

5,003 è la misura di oc *scarsa*, poichè la misura rigorosa sarebbe un po' più grande di 5,003.

5,004 è invece la misura in *eccesso*.

Come fu scelta l'unità di lunghezza? Essa è rimasta per lungo tempo arbitraria. Non solo ogni paese, ma anche ogni località aveva la propria. Le transazioni commerciali erano da ciò rese assai difficili. La Convenzione Nazionale, che fece tante grandi cose nell'intento di *unificare* le misure, di centralizzarle, rese obbligatorio l'uso di un'unità di lunghezza ben determinata che ricevette il nome di *metro* (1).

Per collegare quella lunghezza alla forma stessa del globo, e forse anco nell'intento di usare riguardo a tutte le suscettività, non adottando come *unità legale* nessuna delle unità di lunghezza esistenti, fu deciso che il metro sarebbe la quarantamilionesima parte della lunghezza del meridiano terrestre. Lavori memorabili vennero intrapresi

Fig. 408. — Metro campione dell'Ufficio Internazionale dei pesi e misure.

allo scopo di fissare la lunghezza del metro così definita, ma è ben evidente, che malgrado la valentia e la scienza profonda degli sperimentatori, esperienze sì delicate e di sì lunga lena non potevano fornire un risultato rigoroso.

L'errore commesso è in fondo di poca importanza, non essendo indispensabile che il metro sia una frazione esatta e nota della lunghezza del meridiano; basta che sia rappresentato, perpetuato, da un campione, della stabilità del quale si sia garantiti.

Il primo *campione* fu costruito nel 1799 e depositato negli archivii nazionali il 1 messidoro anno VII. Se ne fecero poscia numerose copie destinate a surrogarlo. Quelle copie sono di platino in lega coll'iridio ed hanno una sezione ad X (fig. 408) che dopo i lavori di Tresca si

(1) Metro, dal greco μέτρον (metron) misura.

ritiene essere quella che presenta la massima garanzia possibile contro la flessione.

Il metro degli archivii è *a capi*, vale a dire rappresenta il metro colla totalità della sua lunghezza; le copie sono *a linee*, cioè la lunghezza del metro è in esse limitata da due linee sottilissime tracciate sul piano medio *a b* a qualche distanza delle estremità. L'uso dei metri a linee è più preciso e più comodo di quello dei metri a capi. Col cannocchiale si può più facilmente misurare una linea che un estremo.

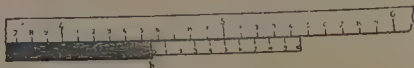



Fig. 409. — Regolo verniero o nonio.

È raro il caso che i fisici usino il metro nelle loro ricerche poichè in generale sono piccole le grandezze che essi devono valutare con precisione; perciò da questo punto di vista sono sopratutto impiegati i sottomultipli del metro, il decimetro, il centimetro, il millimetro, il decimo, il centesimo, il millesimo di millimetro o micron dei micrografi.

Gli apparecchi costrutti nell'intento di effettuare misure di lun-

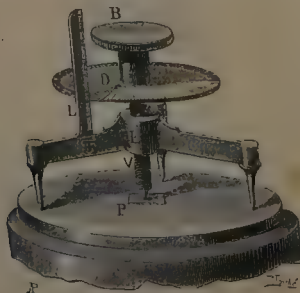



Fig. 410 — Sferometro.

ghezza con precisione, riposano sulle proprietà del *verniero* o *nonio*, della *vite micrometrica* e della *leva*.

Supponiamo che si desideri di apprezzare agevolmente la decima parte del millimetro. Vi si perverrà operando sull'esempio del geometra francese Pietro Vernier. Si dividerà un regolo di metallo di nove millimetri di lunghezza in *dieci* parti eguali — ciascuna di quelle divisioni vale dunque nove decimi di millimetro, e si adatterà quel regolo sul lembo della riga divisa in centimetri e millimetri in guisa che esso possa scorrere a sfregamento dolce su quel lembo. Avendo

così costruito ciò che si dice un regolo a verniero (fig. 409), ecco come si opera. Si dispone il regolo lungo l'oggetto da misurarsi, in guisa che una estremità dell'oggetto stesso coincida collo zero della graduazione pel regolo: l'altra estremità dell'oggetto cade allora in b, punto che si trova, per esempio, fra il quinto ed il sesto millimetro del quarto centimetro. Questo ci apprende già che la lunghezza dell'oggetto è di quattro centimetri e cinque millimetri, più una porzione residua compresa fra 5 e 6 inferiore al millimetro. Quanti decimi di millimetro contiene quella porzione? Per saperlo si riconduce lo zero del nonio a contatto dell'estremità b dell'oggetto e si cerca quale sia la divisione del nonio che coincide con una delle divisioni millimetriche del regolo: supponiamo che sia la quinta. Ciò posto, è agevole il vedere che la porzione residua vale cinque decimi di millimetro; infatti se

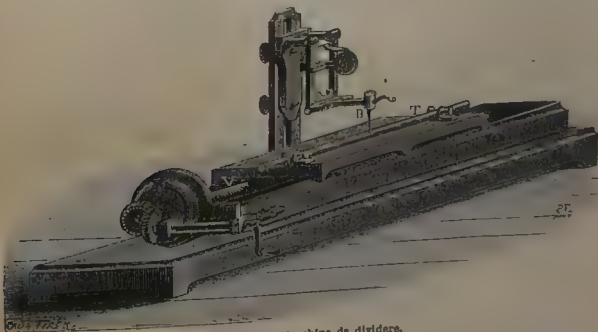



Fig. 411. — Macchina da dividere.

si procede da questa divisione in coincidenza, allo zero che è a contatto di b, si vede che le divisioni successive del verniero battono in ritirata di $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$ ed infine di $\frac{5}{10}$ di millimetro su quelli del regolo, b è dunque a $\frac{5}{10}$ di millimetro dalla divisione 5 del regolo e per conseguenza 5 b vale 5 decimi di millimetro. La lunghezza cercata ha dunque per misura, con un errore inferiore alla decima parte di un millimetro, 4 centimetri, 5 millimetri e 5 decimi di millimetro, ossia 0,0155.

Talvolta i nonii permettono di valutare il 20.º il 30.º di millimetro, tuttavia non possono mai competere per precisione cogli apparecchi fondati sulle proprietà della vite a passo piccolissimo, chiamata per tale ragione *vite micrometrica*.

Il costruttore, attenendosi a metodi speciali, taglia sopra un cilindro

ben omogeneo di bronzo o di acciajo fuso, di lunghezza e di grossezza variabili, una vite a passo ben costante e che generalmente è eguale a un millimetro. Ad una estremità della vite è assicurato un disco o tamburo il cui contorno, la circonferenza, è diviso in parti eguali, mettiamo 500. È allora evidente che facendo girare il tamburo per una divisione, la vite progredirà nella sua madre di una lunghezza eguale alla 500.ª parte del suo passo, attesochè il passo è la corsa per un giro completo del tamburo, vale a dire che la vite avanzerà nel senso della sua lunghezza la 500.ª parte di un millimetro.

Nello *sferometro*, così chiamato perchè mercè sua si può trovare il raggio di una sfera nell' interno della quale non è possibile di penetrare (fig. 410), la madrevite E è portata da un trepiedi T, la vite micrometrica è in V, il disco diviso in D, ed il bottone, per mezzo del quale si agisce sulla vite, è in B.

Se per mezzo di questo istrumento si volesse misurare, per esempio, la grossezza di una sottil lamina di vetro, la si adagierà sul piano perfetto P che sostiene lo sferometro, si condurrà la vite V esattamente a contatto della lamina, poi, dopo aver tolta la lamina, si farà scendere la vite sino a che tocchi esattamente il piano P. Supponiamo che per ottenere quel contatto si sia fatto girare il disco di 5 divisioni, ciò vorrà dire che la grossezza della lamina di vetro, che poco prima separava l'estremità della vite V dal piano P, è eguale a 5 volte la 500.ª parte del passo della vite, vale a dire del millimetro. La lamina assoggettata all'esperimento ha dunque una grossezza eguale alla 100.ª parte di un millimetro.

Disponendo la vite orizzontalmente in guisa che rimanga fissa e sia la madrevite quella che riceve il movimento di traslazione (assetto di cui si vide un esempio nel fonografo perfezionato), è agevole ottenere la misura di un regolo piantandolo sulla piattaforma trasportata dalla madrevite e parallelamente all'asse della vite. A tal fine basta cercare quanti giri si dovettero far eseguire alla vite per far passare esattamente il regolo sotto il reticolo di un microscopio opportunamente raccomandato all'apparecchio. Si dovette girare la vite 28 volte ed un quarto? La lunghezza del regolo è di 28 millimetri e un quarto ossia 0ᵐ,02825.

Si impiega spesso un assetto analogo per dividere in parti eguali i tubi di vetro, i micrometri degli istrumenti d'ottica, ecc.

A tal uopo il microscopio è surrogato da un bulino automatico B predisposto in guisa da tracciare divisioni equidistanti e vicine quanto si vuole sulla superficie da dividersi — quella di un tubo di vetro, per esempio. Il bulino poi traccia di cinque in cinque linee più lunghe, e più lunghe ancora di dieci in dieci.

Un tale istrumento si chiama *macchina da dividere* (fig. 411).

Una vite micrometrica non è mai perfetta; la si verifica misurando una medesima lunghezza per mezzo di diverse porzioni della vite; da quella misura non si ottiene rigorosamente lo stesso numero, ma si deduce da quei risultati una *tavola di correzioni* della vite, che sarà da consultarsi nelle misure ulteriori.

Menzioniamo anche il *comparatore* (fig. 412) composto di una piastra di ghisa F munita di un arresto d'acciajo A e di guido $A\ G'$; un'asta $B\ C$ può essere spinta verso sinistra, una molla a spirale R

tende costantemente a ricondurre quell'asta verso destra. Finalmente, l'estremità B preme leggiermente contro uno dei bracci L' di una leva a gomito, articolata in O il cui altro braccio L, assai più lungo, si sposta sopra un cerchio diviso che ha il centro O. Avendo installato un primo regolo fra l'arresto A e l'estremità B dell'asta mobile, il ramo L si ferma sopra una divisione del cerchio che si nota. Se un secondo regolo viene sostituito al precedente, si dirà che ha la medesima lunghezza del primo, quando L segnerà sul quadrante la stessa divisione di prima; che è più lungo, se L si arresta sopra una divisione più alta. Si potrà allora tagliarlo progressivamente in guisa da dargli la lunghezza del primo regolo, che può essere, per esempio, un *metro campione*.

Vediamo ora come fu scelta *l'unità d'angolo*.

Spesso per misurare gli angoli si prende come unità di misura il *grado*, vale a dire un angolo il quale, disposto in guisa che il suo vertice coincida col centro di un circolo, intercetti fra i suoi lati la 360.ª parte della lunghezza della circonferenza del cerchio. Il grado fu diviso in parti 60 volte più piccole o *minuti*, e queste in 60 parti, dette *secondi*.

Fig. 112. — Comparatore.

I gradi vengono indicati col simbolo °, i minuti con ' ed i secondi con ".

La misura di un angolo che vale dieci gradi, tre minuti e cinque secondi si scrive: 10° 3' 5".

I geometri hanno scelto anche un'altra unità che chiamarono *radian*. È l'angolo *che intercetta sopra una circonferenza tracciata dal suo vertice come centro una lunghezza eguale a quella del raggio di quella circonferenza*. In questo sistema un angolo qualunque ha per misura il rapporto dei numeri che misurano la lunghezza dell'arco intercettato dall'angolo ed il raggio di quell'arco. Il radian equivale nel sistema precedente, ad un angolo di 57° 17' 44".

Se ai punti a e b (fig. 413) ove i lati dell'angolo tagliano la circonferenza si conducono le perpendicolari aA, bB al lato ob, e si misurano le lunghezze aA, bB ed ob, poi coi numeri ottenuti si formano i rapporti $\frac{aA}{ob}$, $\frac{Bb}{ob}$, si ottengono numeri evidentemente indipendenti dall'unità di lunghezza prescelta, e che si chiamano il *seno* e la *tangente* dell'angolo. Quando l'angolo è piccolo, la misura della tangente differisce sì poco da quella dell'arco che la si prende per misura dell'arco stesso.

Gli istrumenti destinati a misurare gli angoli si chiamano *goniometri*.

L'astronomo, il fisico, il mineralogista hanno i loro goniometri spe-

ciali, costrutti appositamente per lo scopo particolare al quale devono servire.

In generale constano tutti essenzialmente di un cerchio di ottone la cui circonferenza, divisa in gradi, minuti e secondi, è munita di un nonio circolare e di un cannocchiale astronomico mobile su quel cerchio intorno a un perno che passa pel suo centro ed è perpendicolare al suo piano. Per assicurarsi che tutte le condizioni necessarie ad una buona misura sieno soddisfatte, è indispensabile di rettificare l'apparecchio, di verificarne l'esattezza, il che richiede operazioni spesso laboriose e delicate.

Dopo la rettifica, l'asse ottico del cannocchiale viene diretto successivamente secondo i due lati dell'angolo da misurare, e dal numero delle divisioni comprese fra le due posizioni di stazione del cannocchiale si deduce il valore dell'angolo.

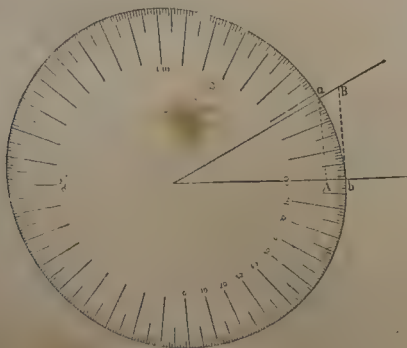



Fig. 413. — Radian.

Certi istrumenti, come sarebbe il *teodolite*, permettono di valutare ad un tempo angoli situati sull'orizzonte e angoli situati nei piani verticali. La descrizione di quegli istrumenti e il modo di adoperarli ci condurrebbe fuori dai limiti che ci siamo imposti.

Nei laboratorii, per la misura dei piccoli angoli — come sarebbero le piccole deviazioni di un ago magnetico — si ricorre sovente ad un metodo speciale, detto metodo di Poggendorff.

L'equipaggio che subisce la deviazione porta uno specchietto M nel quale si guarda l'imagine di un regolo diviso per mezzo di un cannocchiale (fig. 414 e 415). Nella posizione di equilibrio M si vede sul reticolo del cannocchiale il numero 10 della graduazione situata sotto l'asse del cannocchiale stesso. Dopo la deviazione, lo specchio è in M', e sul reticolo del cannocchiale si vede un altro numero del regolo. È facile di trovare quale sia quel numero, poichè il raggio riflesso da

M' e che viene secondo R' dalla divisione osservata, deve coincidere colla direzione R dell'asse del cannocchiale. L'angolo formato dai raggi R ed R' è facile da misurare, e siccome d'altra parte quell'angolo è doppio dell'angolo descritto dallo specchietto nel girare, questo per conseguenza è noto.

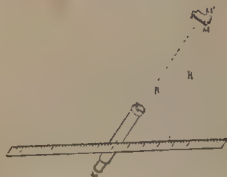



Fig. 414. — Misura di una deviazione col metodo dello specchio.

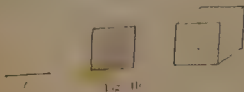
I particolari dell'applicazione di questo metodo furono modificati in molte guise facili ad imaginarsi; ma siccome presentano solo un interesse secondario non ce ne occuperemo.

Nell' intento di non lasciare completamente arbitrarie le unità di

Fig. 415. — Misura di una deviazione col metodo dello specchio.

superficie e di volume, i geometri le hanno collegate all'unità di lunghezza colle definizioni seguenti:

L'unità di superficie S è la superficie del quadrato che ha per lato l'unità di lunghezza L (fig. 416).

Fig. 416.

L'unità di volume V è il volume di un cubo che ha per lato l'unità di lunghezza.

Nel sistema del metro quelle unità sono il metro quadrato ed il metro cubo.

Accettate che sieno quelle definizioni, le unità di superficie e di volume possono essere determinate, costrutte, non appena è stabilita l'unità di lunghezza. Per tale ragione vennero chiamate *unità derivate* della unità di lunghezza, la quale a sua volta, a cagione dell'ufficio importante che è chiamata a sostenere, ricevette il nome di *unità fondamentale*.

Avendo misurato una lunghezza, una superficie ed un volume prendendo per punto di partenza una data lunghezza L, come saranno modificati i numeri ottenuti l, s, v, se si effettuano le stesse misure prendendo una nuova unità di lunghezza, mettiamo $3\,L$, vale a dire 3 volte più grande della precedente?

È visibile che allora (fig. 417) la nuova unità di superficie S' vale 9 volte la prima unità di superficie S; sarà quindi $S' = 9\,S$.

Ora $9 = 3 \times 3$ il che dopo Cartesio si scrive simbolicamente 3^2 e si legge « tre al quadrato » (il 2 è detto un esponente e 3^2 una potenza del numero 3), si ha dunque $S' = 3^2\,S$.

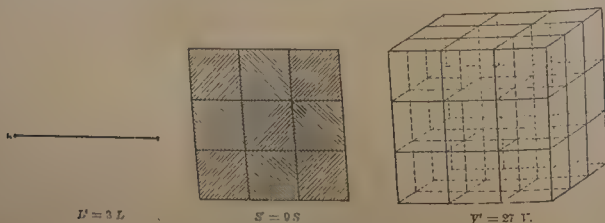



Fig. 417.

Se fosse stata scelta una unità di lunghezza 4 volte più grande della prima, si avrebbe avuto per unità di superficie corrispondente S'' una unità tale che $S'' = 16\,S = 4^2\,S$.

Si trova sempre l'esponente 2.

Questa dipendenza dell'unità di superficie dalla unità di lunghezza si enuncia dicendo che la sua *dimensione* rispetto all'unità di lunghezza è eguale a 2.

Nella stessa maniera la nuova unità di volume V' (fig. 417) è eguale a $27\,V$ ovvero a $3^3\,V$, l'esponente 3 è la dimensione dell'unità di volume rispetto all'unità di lunghezza.

È ovvio poi il riconoscere che i numeri l', s', v' che misurano la lunghezza, la superficie ed il volume si dedurranno da quelli ottenuti per mezzo del sistema primitivo l, s, v, come segue:

$$l' = \frac{l}{3}, \quad s' = \frac{s}{9} = \frac{s}{3^2}, \quad v' = \frac{v}{27} = \frac{v}{3^3}.$$

I geometri hanno stabilito formole che fanno conoscere la superficie ed il volume di una figura regolare qualunque, quando fu misurata la

lunghezza di certe linee legate a quella figura. L'Egitto fu la culla della geometria; in fatti gli straripamenti periodici del Nilo rendevano necessaria ogni anno una nuova delimitazione della proprietà.

Le superficie circoscritte da contorni irregolari si possono valutare per mezzo di istrumenti detti planimetri. Il più usato è il planimetro polare di Amsler.

Per valutare i volumi irregolari, si immergono in un vaso pieno di un liquido che non intacchi la sostanza che li costituisce e che non penetri nell'interno del volume; si misura poi il volume dal liquido spostato per mezzo di vasi opportunamente graduati.

Dopo la considerazione delle unità naturali, che ha condotto alla aritmetica, e della forma degli oggetti (proprietà dell'estensione) che diede vita alla geometria, l'intelligenza umana si è rivolta all'esame del movimento dei corpi. Essa allora ha instituito la scienza del moto, la *meccanica*, che introdusse due nuove grandezze fondamentali: il *tempo* e la *massa*.

La forma delle linee *trajettorie* che risultano dalle posizioni successivamente occupate dal mobile osservato (fig. 418), tale è l'elemento che

Fig. 418. — Trajettoria della velocità di un mobile.

colpisce a tutta prima. La trajettoria stabilisce una specie di relazione fra il moto e lo spazio.

Il suo studio e la sua misura, tracciata che sia, cade nei dominii della geometria.

La forma delle trajettorie dei diversi punti di un sistema materiale in moto dipende dai *legami* visibili ed inevitabili esistenti tra essi.

Alcuni esempii semplicissimi serviranno a far comprendere ciò che si intende per *legame:* un uscio non può assumere un movimento qualunque perchè è legato ai suoi cardini, esso non può far altro che girare intorno ad essi. Ogni punto dell'uscio si sposta sopra una circonferenza di raggio tanto più grande quanto maggiore è la distanza dai cardini del punto considerato. Un tale movimento si dice *circolare* o di *rotazione* intorno alla linea dei cardini, che allora prende il nome di asse del movimento.

Trattasi di un cassetto? si vede che esso è legato alle sue guide in guisa che si può spostarlo soltanto in una direzione, avanti e indietro o indietro e avanti. In questo caso ogni punto si sposta sopra una retta, e per ciò questa specie di movimento si chiama *rettilineo* o di *traslazione*.

La varietà dei movimenti che si ponno ottenere combinando, componendo insieme movimenti di traslazione e di rotazione è infinito.

Abbiamo, a cagion d'esempio, spiegato come un movimento di rota-

zione combinato con un movimento di traslazione, conduca al movimento ad elice o *elicoidale* del registratore cilindrico o al movimento a *spirale* del registratore piano di Carlo Cros (pag. 28).

Prendiamo per esempio anche il movimento della ruota di un veicolo in moto. Ogni punto della ruota gira intorno all'asse, mentre si sposta per un movimento di traslazione come tutto il resto del sistema formato dal veicolo. Sotto l'influenza di quel doppio movimento il punto considerato descrive una curva costituita da un numero infinito di archi eguali e successivi, le cui proprietà sono notevolissime, e che i geometri hanno chiamato *cicloide*.

Il movimento della ruota è circolare se lo si paragona al movimento del rimanente del veicolo *(movimento relativo)*, è cicloidale se lo si paragona allo spazio fermo *(movimento assoluto)*.

Fa mestieri rendersi famigliari quelle diverse maniere di considerare un movimento.

Un osservatore trasportato da un vagoncino (fig. 419) fa girare una frombola *M*. Esso la vede descrivere una circonferenza: questo è il *moto relativo* di *M;* per converso, un osservatore situato fuori del vagoncino

Fig. 419. — Moto assoluto e moto relativo.

scorge una curva complicata *C*, e questo è il *moto assoluto* risultante dalla sovrapposizione del moto relativo circolare e del moto di traslazione rettilinea del vagoncino.

Ma si scorge subito che due mobili che si spostano sopra trajettorie identiche, per esempio su due circonferenze eguali, non sono generalmente animati dallo stesso movimento: il primo può descrivere una volta, due volte, ecc. la circonferenza sulla quale si sposta, mentre il secondo non ne avrà percorso che una parte.

Un tal fatto si esprime dicendo che i due movimenti circolari differiscono dal punto di vista della loro relazione colla *durata del tempo*.

Il tempo non si definisce in altro modo che come una nozione tratta dai nostri sensi dal paragone dei movimenti.

Si misura quella grandezza scegliendo come unità di tempo una durata invariabile: quella di un fenomeno di movimento che un'esperienza diligente e prolungata ha dimostrato prodursi sempre nella medesima maniera. Quel movimento, sovrapponendosi indefinitamente a sè stesso, sovrappone in qualche modo indefinitamente durate eguali.

Abbiamo già veduto (pag. 80 e 126) come un diapason possa servire da cronografo a cagione della durata ben costante della sua vibrazione, e come la picciolezza di quella durata permetta di misurare un tempo con precisione estrema.

Comunemente il tempo è misurato in ore, in minuti (o sessantesimi d'ora) ed in secondi (sessantesimi di minuto). Una durata di 3 ore, 25 minuti e 10 secondi si scrive: $3^{\text{u}}\ 25^{\text{M}}\ 10^{\text{s}}$.

L'ora è collegata alla durata della rotazione della terra sopra sè stessa ed è la 24.ª parte di quella. Dall'uniformità della durata di quella rotazione dipende la costanza dei campioni di tempo.

Gli istrumenti diretti della misura del tempo sono gli *orologi* ed i *cronometri*. Il *pendolo* fu applicato da Huygens alla regolazione degli orologi nel 1657, e nel 1665 lo stesso Huygens applicò agli orologi da tasca la *molla spirale*. Le proprietà del movimento del pendolo, di cui Huygens seppe giovarsi, furono fatte conoscere da Galileo nel 1583. Galileo riconobbe che le piccole oscillazioni eseguite da un corpo so-

Fig. 420. — Pendolo regolatore degli orologi.

speso ad un filo, ad una catena, ad un'asta, hanno tutte la medesima durata, sono *isocrone*, e ciò riconobbe osservando il dondolare di una lampada sospesa alla vòlta della cattedrale di Pisa. Nella figura 420 si vede il regolatore di Huygens, organo principale di un orologio. L'asta del pendolo *P* è impegnata in una forchetta *f*, della quale è solidale un congegno *A*, cui la forma speciale fece dare il nome di scappamento ad ancora. Il peso motore dell'orologio tende ad imprimere un movimento continuo e nel senso della freccia ad una ruota dentata *R* che si denomina indifferentemente ruota di incontro a scappamento o a rocchetto. Ad ogni oscillazione doppia del pendolo la ruota, obbedendo alle estremità dell'ancora, avanza di un dente. Per questo fatto, la lancetta trascinata dalla ruota si avanza sul quadrante di una quantità che segna divisioni eguali di tempo.

Quando si sa misurare la lunghezza ed il tempo è agevole conoscere

la legge di un movimento. Trovare la legge del movimento di un punto N sulla sua trajettoria, equivale a sapere ad ogni istante quale sia la lunghezza ON che esso ha percorso su quella trajettoria dopo il suo punto di partenza (fig. 418).

Il punto di partenza O è la *posizione iniziale* del punto *o l'origine* del moto. L'istante della partenza è *l'istante iniziale* o *l'origine del tempo* relativo al movimento considerato.

Se avvenga che le distanze percorse in tempi eguali sieno eguali tra loro, e *ciò qualunque sia la durata scelta*, il moto si dice *uniforme*.

La legge di questo moto è semplicissima; la si enuncia così:

Nel moto uniforme gli spazii percorsi sono proporzionali ai tempi impiegati a percorrerli.

La rapidità di un tale movimento, la sua *velocità*, è misurata dal medesimo numero che misura la lunghezza di trajettoria che percorre il mobile in un secondo. Se il mobile percorre 15 unità di lunghezza sulla trajettoria nella unità di tempo, si dice che la velocità del moto uniforme è eguale a 15.

La massima parte dei movimenti non possiedono punto una velocità uniforme; la legge che collega lo spazio percorso al tempo è più o meno complessa. Tali movimenti diconsi *varii*.

Fra i movimenti varii, ve n'ha uno di speciale importanza che vogliamo studiare rapidamente per mostrare con un esempio quale sia la via da seguire nello studio di un moto qualunque. Prendiamo dunque a considerare il moto dei gravi liberamente cadenti.

La prima cosa che si verifica è questa, che la trajettoria di un corpo che cade liberamente partendo dal riposo è rettilinea e verticale: e ciò per la relazione che lega il movimento allo spazio. Ma come poi quel moto sarà legato al tempo?

Qual è la lunghezza di trajettoria percorsa alla fine di un tempo determinato?

Qual è in una parola la legge del moto?

Sarebbe una cosa ben difficile misurare direttamente ad ogni istante il cammino percorso dal corpo, poichè esso si move con rapidità estrema. Galileo aveva usato l'artificio del piano inclinato per moderare la caduta, ma è preferibile chiedere al movimento stesso di scrivere la sua legge, come fu spiegato a proposito della registrazione delle vibrazioni.

A tal uopo il generale Morin, mettendo in pratica idee dovute a Poncelet, preparò l'inscrizione nel modo seguente:

Un grande cilindro verticale (fig. 421) sul quale è avvolto un foglio di carta, che porta una serie di linee verticali (o generatrici), viene collocato presso la trajettoria che segue il corpo nel cadere. Questo porta una piccola matita che preme leggiermente sulla carta. Se il cilindro è immobile, la matita, quando il corpo cade, traccia una verticale oy (fig. 422). Se il corpo è mantenuto fermo ed il cilindro gira, la matita traccia una circonferenza orizzontale. Ma se il corpo cade mentre il cilindro è animato da un movimento di rotazione uniforme (per effetto del quale cadauna delle generatrici successive impiega il medesimo tempo a presentarsi davanti alla matita) la curva tracciata è una parabola (fig. 422).

Nel momento in cui la punta della matita si trova in un punto de-

terminato su quella curva, l'altezza dalla quale è caduto il corpo è eguale alla distanza dal punto alla circonferenza iniziale $o\,x$.

Dopo la caduta si misurano diligentemente le distanze dalla circonferenza iniziale che corrispondono alle diverse generatrici tracciate anticipatamente sulla carta, vale a dire a tempi che stanno fra loro come i numeri 1, 2, 3...

Si verifica così che gli spazii percorsi dal corpo partendo dalla posi-

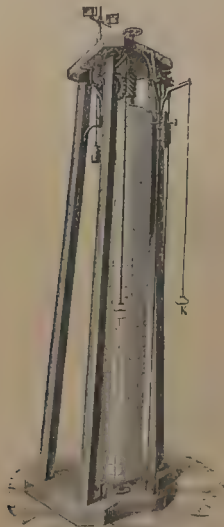



Fig. 121. — Primo inscrittore del movimento applicato allo studio della caduta dei corpi, dal generale Morin

zione iniziale *sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.*

In due secondi il corpo percorre una lunghezza quattro volte maggiore che in un secondo; in tre secondi una lunghezza nove volte maggiore, ecc.

Tale è la legge del moto della caduta dei corpi.

Questo metodo grafico ha un'applicazione generale; se ne fa uso nella massima parte dei casi. Esso fu applicato dal generale Sebert alla velocità dei projettili nei cannoni.

Marey ha costruito un apparecchio chiamato *odografo*, che si applica ai fenomeni più svariati e delicati; esso è tale da afferrare il movimento del sangue nelle vene, dell'aria nei bronchi, di una carrozza trascinata da cavalli, di un convoglio di strada ferrata rapito dalla locomotiva. Si fecero recentemente esperienze odografiche sulla strada ferrata meridionale della Francia coll'intento di giungere a controllare con precisione la marcia dei convogli.

Mercè l'imagine che si ottiene coll'odografo si potrà riuscire a rendersi ragione di tutte le particolarità del movimento dei convogli. La rapidità colla quale si mettono in marcia, l'istante dei passaggi nelle stazioni, l'istantaneità maggiore o minore delle fermate prodotte dall'azione dei freni.

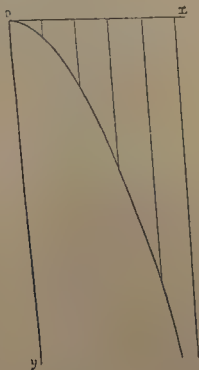



Fig. 422. — Semiparabola inscritta sul cilindro dell'apparecchio Morin da un corpo nella sua caduta.

Ed è ancora il metodo di inscrizione quello che permette di rendersi ragione dei movimenti complessi ai quali dà luogo un terremoto.

Gli apparecchi a tal uopo ideati e che diconsi *sismografi*, registrano la produzione, l'intensità, la direzione e le fasi delle scosse violente del suolo. I *microsismografi*, istrumenti più sensibili dei precedenti, sono destinati allo studio delle vibrazioni insensibili che sono permanenti nelle regioni soggette alle grandi scosse, e che mostrano come la causa generatrice di quei fenomeni si conservi attiva anche fuori dei periodi durante i quali essa produce commozioni violente. ”

Non insisteremo più a lungo sull'importanza dei metodi, per mezzo dei quali un movimento fotografa esso medesimo tutte le gradazioni della sua fisionomia, spesso delicate e cangianti, metodi la cui importanza va giornalmente aumentando e che ricevono ad ogni momento nuove applicazioni.

Torniamo all'apparecchio del generale Morin, punto di partenza di

tutti gli altri, e continuiamo il nostro studio sul movimento del corpo *M*.

Variando quel corpo, nulla si cambia; sia esso grande o piccolo, di rame, d'argento, di legno, ecc., la legge della caduta è rigorosamente la medesima. Newton ha mostrato che lasciando cadere dei corpi nell'interno di un tubo verticale vuoto d'aria, quei corpi nella loro caduta si accompagnano costantemente.

La rapidità della caduta aumenta visibilmente col tempo, ma in quale maniera?

Per saperlo, ripigliamo l'esperimento di Morin, ed operiamo nel modo

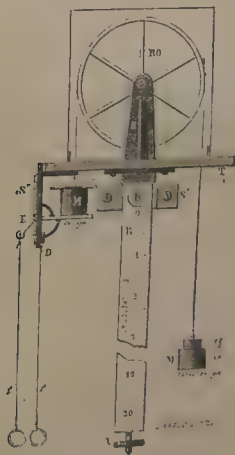



Fig. 123. — Macchina che dà la velocità acquistata da un corpo che cade nei diversi istanti della sua caduta.

seguente: attacchiamo (fig. 123) il corpo *M* all'estremità di un filo che passa nella gola di una carrucola ed all'altra estremità porta un corpo *M'* scelto in guisa che il sistema rimanga in riposo, in equilibrio, in tutte le posizioni che gli si danno.

Ciò fatto, deponiamo sopra *M* un corpo addizionale 10. Immediatamente il sistema si muove, ed *M* + 10 cade obbedendo alle medesime leggi cui obbediva quando *M* era solo, vale a dire, le distanze percorse sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerle.

Ma se si riesce a trattenere il corpo 10 per mezzo di un anello abbastanza stretto per non lasciarlo passare si verifica che subito il moto del sistema diventa uniforme e corrisponde ad una certa velocità che

chiameremo V. Questa velocità dipende dal punto della trajettoria ove fu collocato l'anello. Misurando quella velocità al termine di tempi eguali si trova che essa aumenta del medesimo valore durante uno stesso tempo.

La velocità del movimento uniforme che succede così al movimento primitivo ad ogni istante — dopo la soppressione del corpo addizionale 10 — è, per definizione, la *velocità* in quell' istante del movimento vario.

Per quanto sia all'accrescimento costante della velocità durante i secondi successivi della caduta, esso ha ricevuto il nome di *accelerazione*. Per questa accelerazione, che si indica con g, si trovò a Parigi il valore: $g = 9{,}8094$ (l'unità di lunghezza impiegata essendo il metro e l'unità di tempo il secondo).

La velocità e l'accelerazione sono grandezze che hanno una direzione e nel caso presente la loro direzione si confonde con quella della trajettoria. In un moto qualunque vi ha perciò luogo a considerare una velocità ed una accelerazione. Quando si conosce la legge del movimento e la trajettoria si traccia senza difficoltà di sorta la velocità e l'accelerazione del moto in ogni punto della trajettoria. Trovare quella traccia è un giuoco per i matematici, ma le difficoltà che presentano le considerazioni di quest'ordine non ci consentono di esporre i mezzi di cui essi si servono.

Abbiamo testè mostrato come i diversi movimenti possono differire per la forma della loro trajettoria, per la legge che li collega ai tempi, vale a dire per la velocità e l'accelerazione che assumono ad ogni istante. Ma vi ha di più: noi dobbiam fare un'altra distinzione relativa al corpo che si muove, alla sua individualità.

Benchè cadano assieme ed assolutamente nella medesima guisa, un granello di miglio non è evidentemente identico ad una palla da cannone. I due corpi differiscono tra loro a cagione di un fattore essenziale che fu detto *massa*.

Il mezzo più semplice per concepire con chiarezza l' idea di massa si è quello di imaginare che la materia sia *una*, che sia formata di particelle indeformabili, indistruttibili e tutte identiche. Data questa ipotesi, un corpo materiale qualunque risulterebbe composto da un numero determinato di particelle riunite, aggruppate in modo particolare che varia da un corpo all'altro. La massa o quantità di materia contenuta in un corpo avrebbe quindi per misura il numero delle particelle che lo costituiscono.

Per vero dire quelle particelle sono troppo piccole per essere accessibili all'esperienza. Secondo sir W. Thomson, una goccia d'acqua ne conterrebbe 100 000 000 000 000 000 000 000 000 (cento settilioni), dunque non si può contarle, qualunque sia il microscopio cui si ricorre; ma questa non è una difficoltà.

Infatti in luogo di prendere la massa di una particella come unità, si sceglierà, per esempio, come unità la massa delle particelle contenute in un decimetro cubo d'acqua pura e portate alla temperatura di 4° centigradi.

Tale è la definizione del *chilogrammo-massa*. Esso è rappresentato da un cilindro di platino iridato, conservato agli archivii ed al riparo da qualsiasi alterazione chimica. Questo è il campione di massa

che non si tocca altrimenti che servendosi di una pinzetta rivestita di velluto (fig. 424).

Abbiamo appreso a misurare le lunghezze e le durate, ma come ci comporteremo per comparare la massa di un corpo qualunque a quella del chilogrammo? Come potremo sapere quante volte un dato corpo contenga il numero delle particelle identiche ed irriducibili che contiene un decimetro cubo d'acqua?

In ragione dell'identità supposta di tutte le particelle ultime dal *punto di vista dei fenomeni meccanici*, basterà evidentemente il fenomeno stesso cercare quanti chilogrammi o frazioni di chilogrammo si debbano riunire perchè quelle masse, sostituite al corpo in un fenomeno meccanico qualsiasi, non rimanga menomamente turbato.

Ordinariamente si sceglie come mezzo di comparazione un fenomeno di equilibrio, e la comparazione si effettua con apparecchi che chiamansi *bilancie* (fig. 425). Si mette in uno dei piatti il corpo di cui si vuol comparare la massa, e gli si fa equilibrio mettendo nell'altro piatto oggetti quali che sieno. Ottenuto il riposo, si toglie il corpo, cosa che distrugge l'equilibrio, e lo si ristabilisce mettendo al suo posto chilogrammi o frazioni di chilogrammo. Se per ottenere quel risultato abbisognarono 2 chilogrammi, si dirà che la massa del corpo è misurata dal numero 2. Si ottiene il medesimo numero qualunque sia il fenomeno particolare che serve per effettuare la misura. Fa mestieri vedere sopra ogni corpo un numero di matricola, un numero fisso che ne indica la massa comparativamente all'unità prescelta e che non dipende in alcuna maniera da altre circostanze. Che il corpo sia al polo od all'equatore, alla superficie della terra o nella navicella di un pallone spaziante nell'aria, il risultato della misura è sempre il medesimo, a condizione per altro che sia effettuato nel vuoto.

I fisici non hanno conservato il metro, l'ora ed il chilogrammo-massa come unità. Dopo i lavori del Congresso internazionale degli elettricisti, tenutosi a Parigi in occasione dell'Esposizione di elettricità, fu stabilito che tutti gli scienziati, tutti gli ingegneri, a qualsiasi nazionalità appartengano, esprimeranno le loro misure prendendo:

Per unità di lunghezza il *centimetro* (centesima parte del metro campione).

Per unità di massa il *grammo* (millesima parte del chilogrammo campione).

Per unità di tempo il *secondo* (86 400.ª parte del giorno solare medio).

Queste sono le *unità fondamentali* nella misura delle grandezze. Tutte le altre possono essere agevolmente collegate per mezzo di definizioni opportune alle unità fondamentali (come abbiamo già veduto per la superficie, il volume, la velocità, l'accelerazione, e come dimostreremo per le altre grandezze); esse perciò si chiamano *unità derivate*.

L'insieme delle unità fondamentali (centimetro, grammo, secondo) e delle unità che ne sono derivate qualunque ne sia la natura, costituisce il sistema di misura *centimetro-grammo-secondo*, distinto per brevità col simbolo, sistema *C. S. G.*

Lo ripetiamo, oggidì questo sistema è l'unico che si adoperi nei laboratorii del mondo intiero.

Gauss aveva già collegato tutte le misure al millimetro, al milligrammo e al secondo; più tardi, nel 1852, l'Associazione britannica riprese l'idea di Gauss e costituì un sistema di misure coordinate, adottato nel 1865 dalla Società reale di Londra. Questo sistema ebbe la sanzione del Congresso del 1881 e completò, sotto il nome di sistema delle misure *C. G. S.*, l'opera unificatrice del sistema metrico.

Secondo le precedenti definizioni è chiaro che nel sistema C. G. S. l'unità di superficie del quadrato che ha per lato il centimetro è il centimetro quadrato (fig. 414).

L'unità di volume è il volume del cubo che ha per spigolo il centimetro: è il centimetro cubo (fig. 414).

Parimenti l'unità di velocità è la velocità di un mobile animato da un movimento uniforme e che progredisce di un centimetro per secondo. Benchè questa unità non abbia ricevuto un nome particolare, noi la chiameremo *velox* (1) coll'intento di rendere più chiara l'esposizione. Se un mobile percorre con moto uniforme una lunghezza di 50 centi-

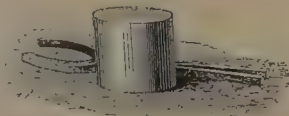



Fig. 424. — Campione di massa: chilogrammo.

metri in un secondo, la sua velocità è di 50 velox; se in un secondo percorre 620 metri, la sua velocità è di 62 000 velox.

L'unità di accelerazione è l'accelerazione di un movimento uniformemente vario nel quale la velocità cresce di una unità, ossia di un velox per secondo. Daremo a questa unità il nome di *accelerale*.

L'esperienza ci ha mostrato che un corpo liberamente cadente assume una velocità progressivamente crescente, e che la variazione di quella velocità in un secondo è a Parigi di 981 velox. L'accelerazione di quel moto vale dunque 981 *accelerali*, più esattamente 980,94.

Così si trovano stabilite e determinate, nel tempo stesso del centimetro e del secondo, le unità C. G. S. di superficie, di volume, di velocità e di accelerazione.

L'esame ragionato dei fenomeni condusse alla conquista di molte altre nozioni, la cui misura fu collegata del pari senza difficoltà al centimetro, al grammo ed al secondo.

Un corpo in moto va a battere contro un ostacolo, e subito si vede che l'effetto prodotto su questo dipende dalla massa del corpo e dalla velocità che anima il corpo stesso nell'istante dell'urto; se da un terzo piano si abbandonano contemporaneamente un pallino di piombo ed una palla da cannone, essi si accompagnano costantemente nella loro caduta, possiedono in ogni istante la medesima velocità, e nondimeno

(1) Dal latino *velox*: veloce.

mentre il pallino di piombo non arreca niun incomodo al passeggiero che colpisce, la palla lo ammazza sull'istante.

A sua volta quello stesso pallino diventa mortale se è lanciato con una velocità maggiore, cosa che si ottiene ordinariamente per mezzo di un'arme.

Lo stato di moto in quelle diverse condizioni non è dunque il medesimo; questo fatto attirò l'attenzione dei più illustri pensatori.

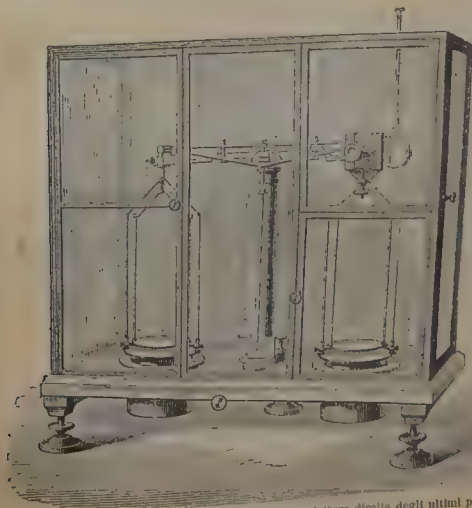



Fig. 425. — Bilancia di precisione a periodica ed a lettura diretta degli ultimi pesi. (Sistema Curie)

Cartesio diede alla qualità differenziale dei movimenti dei quali ci stiamo occupando il nome di *quantità di movimento*.

Leibnitz l'ha chiamata forza viva (*vis viva*). In oggi, come l'abbiamo già detto, porta il nome di *energia cinetica*.

Siccome questa quantità cresce visibilmente colla massa del corpo e colla sua velocità, Cartesio la misurava in ogni caso moltiplicando la misura della massa per quella della velocità. Ciò facendo commetteva un errore. Leibnitz la valutò moltiplicando la misura della massa pel quadrato di quella della velocità.

A questo proposito sorse fra i partigiani di quei due grandi genii una celebre controversia. La vittoria rimase a Leibnitz; infatti oggidì si misura l'energia cinetica colla metà del prodotto di Leibnitz.

Già da lungo tempo, dice Fouffret nella sua *Introduzione alla Teoria dell'Energia*, gli artiglieri hanno riconosciuto, che gli effetti distruttori dei projettili variano proporzionalmente alla loro massa ed al quadrato della velocità al momento dell'urto.

Risulta da ciò che nel sistema C. G. S. *l'unità di energia* è la metà dell'energia che possiede il grammo spostandosi con moto uniforme e colla velocità d'un *velox*. Questa unità fu chiamata *erg* (1).

Andiamo innanzi un altro passo. L'osservazione permette di asserire che la tendenza di un mobile al movimento cresce nelle condizioni nelle quali l'accelerazione aumenta, resta invariabile se l'accelerazione conserva uno stesso valore, e diminuisce col diminuire dell'accelerazione.

A questa tendenza si diè il nome di *forza*, e la si misura ad ogni istante facendo il prodotto della misura della massa del mobile per quella dell'accelerazione nell'istante considerato. La si dirige secondo l'accelerazione.

Da questa definizione si viene a concludere che l'unità di forza è la forza che comunica al grammo un movimento uniformemente vario, la cui acccelerazione vale un *accelerale*. Questa unità ha ricevuto il nome di *dina* (2).

La massa di un corpo è una grandezza costante, qualunque sia la posizione del corpo; per converso il peso del corpo varia colla sua posizione, e la sua misura richiede che si conosca la massa del corpo ed inoltre l'accelerazione, o, ciò che fa lo stesso, l'intensità della gravità nel sito considerato.

---

(1) Dal greco ἔργον (ergon): lavoro.

Qual è l'energia cinetica che possiede una palla la cui massa è eguale a 20 grammi, quando la velocità del suo movimento è di 62 000 velox?

La massa è eguale a 20.

Il quadrato del numero che misura la velocità è eguale a

$$62\,000 \times 62\,000 = 3\,844\,000\,000.$$

La metà del prodotto della massa pel quadrato della velocità è eguale a 38 440 000 000.

Dunque, l'energia cinetica della palla è di 38 bilioni 440 milioni di erg, o, in abbreviatura, di 3844 × 10^7 erg.

Si sa infatti che 10^7, che si legge 10 alla potenza settima, rappresenta il prodotto di sette fattori eguali a 10. $10^7 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$.

La palla precedente si trova presso a poco nelle condizioni di quella del fucile Lebel nell'istante che esce dall'arme.

(2) Dal greco δύναμις (dinamis): *forza*.

L'accelerazione del moto che assume un grave liberamente cadente essendo eguale a 981 accelerali, la forza relativa a quel moto vale 981 dine.

Questo numero 981 dine ha ricevuto il nome di *intensità della gravità*.

Come lo dimostra chiaramente l'esperienza, l'accelerazione in uno stesso luogo del movimento di caduta di una massa qualunque è la stessa.

Misurando quell'accelerazione in luoghi che differiscono per la latitudine o per l'altitudine, si verifica che essa varia. Se al polo essa è di 983,11 accelerali, all'equatore lo è di soli 978,10. Per conseguenza la medesima massa di 1 grammo corrisponde al polo a 983,11 dine, ed all'equatore a 978,10. Si dice pure che l'intensità della gravità in un certo luogo, o il *peso* del grammo in quel luogo. Se esso vale 981 dine, il peso di una massa di 25 grammi varrà:

$$25 \times 981 = 24\,525 \text{ dine.}$$

L'accelerazione della gravità ordinariamente si misura per mezzo del pendolo. Il più grande fra i pendoli esistenti è quello che fu installato da Mascart alla torre Eiffel. È attaccato alla seconda piattaforma della torre e discende sino a terra.

Siccome poi l'accelerazione del movimento di un corpo liberamente cadente secondo una trajettoria qualunque è la medesima ad ogni istante, così la forza è essa pure costante e il suo valore è indipendente dalla grandezza della velocità acquistata dal mobile. Questa forza o *peso* è per conseguenza invariabile durante la caduta. I meccanici le attribuiscono ancora il medesimo valore quando il corpo è in riposo, quando è posto sopra un tavolo, sospeso ad un filo, ad una molla, ecc.

Se due mobili sono collegati in guisa che non possano assumere che movimenti opposti (fig. 426) si dice che hanno un'eguale tendenza al movimento, o anche che sono sottoposti all'azione di forze eguali ed opposte, se restano in riposo, in equilibrio. Da ciò consegue che se una delle forze è nota in dine, l'altra forza sarà misurata dal medesimo numero di dine.

Questo è il principio sul quale sono basati gli apparecchi detti *dinamometri* che servono a misurare le forze (fig. 426).

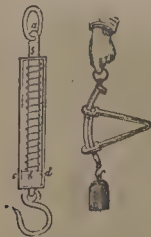



Fig. 426. — Dinamometri.

Una molla viene assicurata per una estremità e porta un indice che si muove davanti ad una graduazione. La si deforma per mezzo di pesi noti e si scrive sulla divisione ove si arresta l'indice il valore di quel peso, ovvero un numero corrispondente. Se in seguito in luogo del peso si fa agire una forza nelle medesime condizioni, non si avrà che da consultare la divisione di fronte alla quale si è arrestato l'indice per conoscere immediatamente la misura della forza.

Gli apparecchi rappresentati dalle figure 199 e 200 sono dinamometri che ci permisero di valutare in dine, in ogni caso, la forza elettrica o magnetica sostituendo calamite alle palle elettrizzate.

Se un dinamometro è deformato nell'aria sotto l'azione di un peso eguale a p dine, si riconosce che la deformazione della molla diminuisce e non corrisponde più che ad un numero p' di dine più piccolo di p quando si tuffa il corpo nell'acqua di un vaso. Si enuncia questo fatto dicendo che il corpo subisce da parte dell'acqua una *spinta* e che questa ha per valore in dine $p - p'$. Variando la natura del liquido nel quale si immerge il corpo, si osserva che la spinta varia e che essa è, in ogni caso, eguale *al peso del volume di liquido spostato*. Ciò si dimostra agevolmente come segue: si equilibra una bilancia nell'aria,

si immerge il cilindro P sospeso sotto uno dei piatti in un liquido e con ciò si distrugge l'equilibrio. Lo si ristabilisce poi riempiendo il secchiello C, che ha esattamente il medesimo volume del cilindro P, collo stesso liquido che è contenuto nel vaso (fig. 427).

Questa è una celebre scoperta dovuta ad Archimede.

Se la spinta è inferiore al peso del corpo, questo, abbandonato nel liquido, cade sul fondo del vaso (palla di piombo nell'acqua).

Per lo contrario galleggia in un punto qualunque del vaso se la spinta è eguale al peso del corpo. Una goccia d'olio, formata in cima d'un tubetto di vetro e lasciata cadere nel seno di una miscela in proporzioni appropriate di acqua e di alcool, traduce in fatto tale condizione.

Se la spinta è superiore al peso del corpo, questo galleggia sul liquido e si affonda in guisa da spostare un volume di liquido il cui peso sia precisamente eguale a quello del corpo.

Questo è il fatto che spiega la navigazione, il nuoto, ecc.

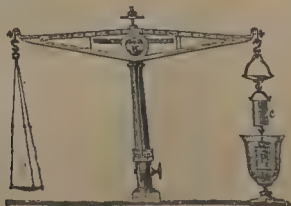



Fig. 427. — Principio di Archimede.

Esso permette di valutare agevolmente il peso di un centimetro cubo dei diversi liquidi.

I numeri ottenuti si dicono i *pesi specifici* dei liquidi.

Se un corpo, il cui volume è eguale a 3 centimetri cubi, subisce una spinta di 30 dine da parte di un certo liquido, il peso specifico di quel liquido è eguale a $\frac{30}{3}$ ossia 10.

Dividendo i pesi specifici presi a Parigi per l'accelerazione nel medesimo luogo 981 accelerali, si ottiene la massa del centimetro cubo del liquido, il che si chiama la sua *densità assoluta*.

Si ottiene quella che dicesi *densità relativa* di un corpo rispetto ad un altro, dividendo la densità assoluta della prima sostanza per la densità assoluta della seconda. È anche il rapporto dei pesi di volumi eguali del primo e del secondo corpo.

Le densità relative dei corpi solidi o liquidi sono generalmente riferite all'acqua a 4 gradi, e quelle dei gas all'aria.

Nei gas si osserva l'esistenza di una spinta che obbedisce alla medesima legge che si vede esercitata nei liquidi, e in questo caso porta il nome di *forza ascensionale*, e spiega l'ascensione di certi corpi in seno all'atmosfera, la possibilità della navigazione aerea. Se una gran palla vuota ed una pallina piena si fanno equilibrio nell' aria, met-

tendo l'apparecchio sotto la campana di una macchina pneumatica il giogo si inclina sempre più dalla parte del pallone perchè rarefacendo l'aria si viene a sopprimere in tutto od in parte la spinta che l'aria stessa esercitava, e che è più grande pel pallone (fig. 428).

Definiamo ora ciò che si chiama *forza elastica* in un punto di una massa fluida.

In un vaso contenente un liquido (fig. 429), immergiamo un tubo cilindrico il cui fondo è costituito da una leggiera piastra di vetro applicata contro il lembo inferiore del cilindro. Fa d'uopo versare nel tubo un liquido della medesima natura, eguale a quello contenuto nel vaso, sino a che si alza al livello libero per determinare la caduta della piastra. Purchè si mantenga fisso il centro del circolo dell'otturatore, può inclinare il cilindro e dargli una forma qualunque senza che il risultato dell'esperienza rimanga cambiato.

Fig. 428

Si interpreta questo risultato dicendo che la superficie dell'otturatore subisce da parte del liquido circostante una spinta diretta normalmente alla superficie ed eguale in dine al peso del cilindro liquido che ha per base la superficie dell'otturatore e per altezza la distanza dal suo centro al livello del liquido nel vaso.

Fig. 429

Fig. 430.

Se la superficie dell'otturatore è eguale a 1 centimetro quadrato, la pressione corrispondente porta il nome di forza elastica al punto ove è situato l'otturatore. La forza elastica si misura dividendo un numero

di dine per un numero di centimetri quadrati. L'unità corrisponde ad una dina esercitantesi sopra 1 centimetro quadrato. È chiaro che una porzione qualunque della parete del vaso riceve una pressione che si misura nella medesima maniera di quella che subisce l'otturatore.

Se si dispone il vaso come lo indica la figura 430, e se la superficie dell'apertura inferiore è quattro volte più grande dell'apertura laterale, in riposo, la pressione su questa è quattro volte più piccola che sulla prima.

Pascal, che scoprì questo fatto, lo ha enunciato sotto la forma seguente: « Se un vaso pieno d'acqua, chiuso da tutte le parti, ha due aperture delle quali una sia centupla dell'altra, adattando a ciascuna un embolo che la chiuda esattamente, si vedrebbe un uomo che spinge l'embolo piccolo eguagliare la forza di cento uomini che spingono quello cento volte più largo e superarne novantanove. » In ciò consiste il principio del *torchio idraulico*.

Nel 1647, Pascal fece a Rouen una esperienza celebre destinata a mostrare come si possano esercitare enormi pressioni con una minima quantità d'acqua. Egli piantò nella parte superiore di una botte un tubo molto lungo e molto stretto che riempì d'acqua come la botte. Supponiamo che l'acqua si elevi a 10 metri sopra il fondo della botte e che questo abbia la superficie di 1 metro quadrato, vale a dire di $100 \times 100 = 10\,000$ centimetri quadrati. Stando a quanto abbiam detto in precedenza, la pressione sopportata dal fondo è eguale a quella di una colonna d'acqua avente una base eguale a 10 000 centimetri quadrati ed un' altezza di 1000 centimetri, vale a dire al peso di dieci milioni di centimetri cubi d'acqua, peso che è eguale a circa $10^7 \times 981$ dine. Esso corrisponde ad una massa di 10 000 chilogrammi. In tali condizioni la botte non può resistere e scoppia. Ogni metro d'acqua aggiunto nel tubo accresce la pressione sul fondo di un numero di dine eguale ad una massa di 100 chilogrammi, ed alcune goccie di acqua bastano ad elevare di tanto il livello nel tubo.

I gas al pari dei liquidi esercitano una pressione sulla superficie dei vasi che li contengono, ma il gas si distingue dal liquido per la sua proprietà di espandersi, vale a dire per la facoltà che possiede di spargersi su tutto lo spazio che gli è offerto.

Si definisce la forza elastica di un gas come si è definita quella di un liquido in un punto della sua massa.

L'importanza della questione c'impone di arrestarci ad esaminare come si mette in evidenza l'espansibilità e come si procede alla misura della forza elastica di un gas.

Introduciamo sotto la campana di una macchina pneumatica una vescica a metà piena d'aria e munita di un robinetto che si chiude. Non appena incomincia la rarefazione la vescica si gonfia e l'aria ne stende le pareti al punto di romperle. Che cosa avviene, se si lascia rientrare l'aria sotto la campana? La vescica ritorna di bel nuovo floscia. Codesta proprietà dei gas costituisce ciò che dicesi la loro *espansibilità*.

Una massa gasosa abbandonata a sè stessa in uno spazio vuoto, lo riempie subito ed esercita contro le pareti una pressione che, valutata sulla superficie di un centimetro quadrato, ha ricevuto il nome di forza elastica del gas

L'espansibilità dei gas può essere resa evidente per mezzo dell'esperimento seguente:

Una bottiglia ermeticamente chiusa con un tappo di sughero leggiermente lubrificato viene posta sotto la campana della macchina pneumatica. Appena l'aria è rarefatta il tappo salta. Questo esperimento riesce con qualunque gas e non soltanto coll'aria.

L'espansibilità dei gas in virtù della quale una massa gasosa tende ad occupare un volume sempre più grande, potè sembrare in contraddizione colle leggi della gravità, perciò l'opinione che l'aria non fosse pesante prevalse per lungo tempo. Aristotile concepì, a quanto pare, per un momento l'idea del peso dell'aria, ma non seppe dimostrarla.

Galileo pesò successivamente un pallone pieno d'aria comune e pieno d'aria compressa. La superiorità del peso nel secondo caso dimostra che l'aria è pesante.

Ottone di Guericke eseguì nel 1650 un esperimento che distrusse ogni dubbio circa il peso dell'aria.

Egli fece il vuoto in un pallone di grande capacità, lo sospese al piatto di una bilancia e stabilì l'equilibrio con una tara qualunque. Lasciò rientrare l'aria nel pallone, e l'equilibrio fu distrutto: il peso del pallone superò quello della tara e perciò discese.

Regnault ripetè questo esperimento usando particolari precauzioni per assicurarne la precisione, e trovò che nel ghiaccio che si fonde al livello del mare, un litro d'aria pesa $1{,}293 \times 981$ dine.

« Prima che la fisica, scrive Biot, fosse diventata una scienza sperimentale, vale a dire sino ai tempi di Galileo, si supponeva che nessuna parte dello spazio potesse essere priva di materia, e si formulava quell'idea dicendo che la natura ha orrore del vuoto. Perciò, quando si vedeva salire l'acqua nelle trombe nel momento che si sollevava lo stantuffo, si diceva che l'embolo sollevandosi tendeva a fare un vuoto nei tubi della tromba, ma che la natura avendo orrore del vuoto si affrettava a farvi salire l'acqua per riempirli. A nessuno veniva in mente di domandare come mai la natura, la quale non è altro che il complesso dei fenomeni, potesse così personificarsi e trasformarsi in un essere suscettibile di passioni. In quell'epoca il dubbio non era inventato. Un bel dì certi fontanieri di Firenze, avendo costrutto una tromba molto lunga coll'intento di sollevare l'acqua ad un'altezza maggiore di quella che usavano vincere, trovarono che l'acqua saliva nel corpo di tromba sino all'altezza di 32 piedi circa, ma che non *voleva* assolutamente montare più in su, per quanto facessero energicamente lavorare gli stantuffi. Compresi di stupore dinanzi ad un tal fatto, corsero a consultare Galileo, che loro rispose, probabilmente celiando, che la natura aveva orrore del vuoto soltanto sino all'altezza di 32 piedi.

« Quel grande filosofo aveva già intraveduto che quel fenomeno ed altri congeneri erano semplici risultati meccanici prodotti dal peso dell'aria; ma molto probabilmente non aveva ancora concretato le sue idee sopra un argomento sì nuovo, perciò preferì dare ai fontanieri quella risposta vana e non arrischiare il suo segreto. Galileo morì senza averlo palesato, e fu il suo discepolo Evangelista Torricelli che nel 1643 con un esperimento mirabile ed ingegnoso comprovò incontestabilmente quella scoperta. »

Torricelli prese un tubo di vetro lungo circa un metro, chiuso ad

un capo, lo riempì di mercurio, lo capovolse ponendo il dito sull'estremità aperta per impedire che il liquido sfuggisse, e tuffò quell'estremità in una vaschetta piena di mercurio.

Appena tolse via il dito, il mercurio discese nel tubo e si fermò all'altezza di circa 28 pollici sopra il livello del mercurio nella vaschetta. Essendo il mercurio 13,5 volte più pesante dell'acqua, a parità di volume, doveva succedere che se il peso dell'aria faceva salire l'acqua nelle trombe a 32 piedi, il mercurio doveva montare nel tubo ad una altezza 13,5 volte minore, vale a dire a 28 pollici. Lo spazio di tubo compreso fra il suo vertice e l'estremità superiore del cilindro di mercurio era affatto vuoto di materia ponderabile.

Fig. 131. Barometro normale

Se il mercurio si mantiene nel tubo ad una certa distanza verticale dal livello del liquido nella vaschetta, ciò avviene per virtù della forza elastica dell'aria atmosferica che preme sul mercurio della vaschetta.

Gli istrumenti che servono a misurare la forza elastica di un gas diconsi *barometri*. In generale si dà il nome di *manometri* agli istrumenti impiegati nella misura della forza elastica di un gas o di un vapore, riservando il nome di *barometri* a quei soli che si usano per misurare la forza elastica dell'atmosfera, la cui conoscenza è indispensabile per le osservazioni manometriche.

Si costruisce tuttora il barometro come lo costruiva Torricelli. La condizione essenziale perchè un barometro sia buono sta in ciò: nella camera barometrica, cioè nella parte superiore dell'apparecchio, deve esistere un vuoto possibilmente perfetto. A tal uopo fa mestieri purgare le pareti del tubo dell'aria e del vapore acqueo che fortemente vi aderiscono. Si piglia un tubo lungo 1 metro e avente 3 centimetri di diametro circa. Si salda alla parte superiore della sua parete un tubo laterale tuffato nel mercurio puro scaldato. Si fa il vuoto colla pompa a mercurio nella parte stirata superiore del tubo che si mette poi in un fodero di ferro e che si scalda mantenendola inclinata.

Mentre il vuoto va progressivamente formandosi, obbliga il mercurio a cadere a goccia a goccia nel tubo laterale. L'operazione è lunga, ma in compenso operando in siffatta guisa si ottiene in capo ad alcuni giorni un tubo barometrico la cui camera non contiene più traccie nè d'aria, nè di vapore acqueo.

Si taglia allora il tubo nella parte affilata e lo si capovolge sulla vaschetta a mercurio nel luogo ove deve funzionare.

Volendosi un barometro di quelli che si chiamano *barometri normali* (fig. 131) il quale possa fornire a un dato momento un' indicazione precisa e possa altresì servire di campione al quale paragonare altri barometri meno perfetti, si opererà come sopra fu detto per ciò che concerne il riempimento del tubo, poi si appoggierà verticalmente ad una colonna, ad un sostegno qualunque, un regolo diviso, o si metterà il barometro ritto lungo la colonna. Fatto ciò, per mezzo di un cannocchiale mobile intorno ad un albero verticale, ma mantenuto oriz-

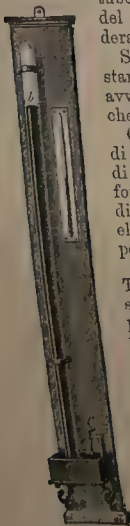
zontale, si fissa il livello superiore del mercurio, poi facendolo girare orizzontalmente si collima la divisione corrispondente del regolo.

D'altra parte un secondo cannocchiale può collimare la punta di una vite mobile terminata da due punte, di lunghezza determinata una volta per sempre: la punta inferiore sfiora il mercurio della vaschetta. Facendo girare orizzontalmente il cannocchiale si legge la divisione corrispondente del regolo. La differenza delle due letture aumentata del numero che misura la lunghezza della vite, dà l'altezza barometrica. La precisione della lettura è limitata alla precisione della graduazione del regolo, astrazion fatta dagli errori di osservazione. Per rendere tutte le misure comparabili fu convenuto di ricondurre l'altezza osservata a quella che si sarebbe letta se tutto l'apparecchio fosse stato immerso nel ghiaccio fondentesi.

Fig. 432. Barometro di Gay-Lussac.

Si chiama *atmosfera* la forza elastica di un gas che a Parigi fa equilibrio ad una colonna mercuriale di 76 centimetri di altezza e mantenuta alla temperatura del ghiaccio che si fonde. Questa è la forza elastica media dell'atmosfera al livello del mare.

L'istrumento quale fu descritto non è trasportabile ed è di un uso quasi impossibile in pratica. Perciò si adopera ordinariamente il barometro di Gay-Lussac (fig. 432) o quello di Fortin (fig. 433), ovvero si fa uso di veri dinamometri detti barometri metallici.

Per misurare forze elastiche notevoli si impiegano i *manometri;* fra questi il più preciso è il manometro ad aria libera di Regnault (fig. 434).

Concorrono a formarlo due tubi di vetro verticali attaccati contro una tavoletta di legno M e chiusi a mastice in un robinetto di ghisa ed a tre vie R. Disponendo il robinetto secondo certe posizioni si può: 1.° far comunicare fra loro i due tubi del manometro senza sgorgo di mercurio; 2.° far comunicare i due tubi fra loro e coll'aria esterna; 3.° far comunicare separatamente coll'esterno ciascuno dei tubi.

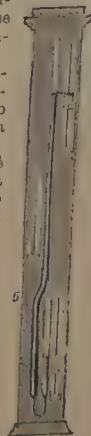
Nella prima posizione del robinetto la differenza di livello del mercurio, aúmentata dell'altezza barometrica nel momento dell'esperienza, rappresenta la forza elastica del gas.

Regnault misurò in questa maniera forze elastiche di 30 atmosfere.

Il braccio lungo del manometro era formato da una serie di tubi di cristallo lunghi 3 metri cadauno, col diametro interno di 10 millimetri e con 5 millimetri di grossezza.

Quei tubi erano mantenuti lungo una tavola di abete verticale attaccata ad una muraglia, ed erano riuniti capo a capo da un collare a gola inventato dal Regnault per impedire le fughe.

L'apparecchio fu impiantato in una torre nel collegio di Francia, e siccome quella torre era alta solo 9 metri, Regnault la prolungò con un tavolato e potè così ottenere un'altezza di tubi di 30 metri circa.

Oggidì la torre Eiffel permise che vi si potesse impiantare un manometro ad aria libera il cui braccio aperto misura circa 300 metri.

Nell'industria l'uso di quei manometri è impossibile, perchè sono voluminosi e difficilmente si ponno eseguire le letture, ed è del pari impossibile collocarli sopra una locomotiva, le cui trepidazioni scuoterebbero la colonna di mercurio.

Vi si supplisce col manometro ad aria compressa, il quale consiste in un tubo chiuso, che nella sua parte inferiore contiene mercurio e nella superiore aria secca alla pressione atmosferica. Se il tubo comunica con un serbatojo contenente un gas od un vapore che abbia la forza elastica dell'atmosfera, il livello del mercurio si trova sul medesimo piano nel tubo e nella vaschetta.

Aumentando la forza elastica, il livello nel tubo si inalza. La graduazione si fa per paragone con un manometro ad aria libera.

Fig. 133. — Barometro di Fortin.

Ordinariamente si preferisce adoperare il manometro metallico di Bourdon (fig. 406).

Esso consta di un tubo di rame a pareti sottili ed a sezione ovale, ed è piegato a spira.

L'estremità chiusa è collegata in b ad una lancetta che si muove sopra un quadrante diviso. L'estremità del tubo aperto viene messa in comunicazione col recipiente del gas o del vapore, quando si apre il robinetto d.

La forza elastica del gas diffuso nel tubo premendone la parete lo deforma, e questa deformazione, che varia colla forza elastica del gas, è indicata dalla lancetta. Questo apparecchio si gradua comparandolo ad un manometro ad aria libera.

Bourdon ha pure costruito sul medesimo principio un barometro. Nel tubo è fatto il vuoto, ed in questo caso è la forza elastica dell'atmosfera che, premendo sulla superficie esterna del tubo, lo deforma. Ora dunque, mercè il barometro, noi siamo in grado di valutare la forza elastica di un gas ed in particolare quella dell'aria atmosferica.

Pascal e suo suocero Périer riconobbero nel 1648 che la forza elastica dell'atmosfera scema coll'altitudine. Altri scienziati riscontrarono il medesimo fatto elevandosi sopra alte montagne. Saussure, a cagion d'esempio, lo osservò nel 1788 sulla vetta del Monte Bianco, ed Humboldt sulla cima delle Cordigliere. Ascensioni scientifiche fatte in pallone resero le esperienze ancora più concludenti. Robertson, che fe' per

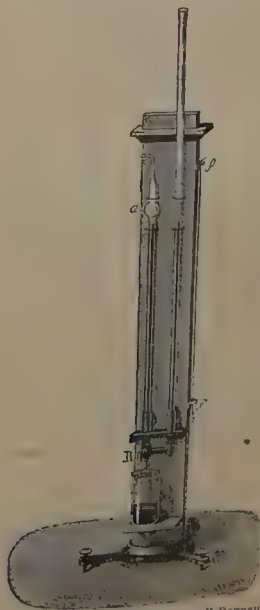



Fig. 431. — Manometro ad aria libera di Regnault

il primo quello studio, si elevò nel 1803 a 7400 metri. Biot e Gay-Lussac si innalzarono sino a 7000; Glaisher e Coxwel montarono il 15 settembre 1862 ad 8838 metri. Gastone Tissandier, Sivel e Croce Spinelli si elevarono collo *Zenith* ad 8600 metri il 15 aprile 1875. Due di quegli arditi esploratori del cielo trovarono la morte in quell'ascensione famosa; il solo Tissandier sopravisse. A quell'altezza la *colonna barometrica non indicava più di 26 centimetri.*

Noi vediamo che pei gas si introduce un fattore importante, la forza elastica; allorchè paragoneremo i risultati di esperienze qualunque, riferentisi ai gas, sarà mestieri conoscere sempre la forza elastica dei gas nelle condizioni nelle quali furono studiati.

Mariotte ha dettato una legge aprossimativa ma semplice che lega il volume occupato da un gas alla sua forza elastica. *Per una stessa massa di gas il volume da esso occupato è inversamente proporzionale alla sua forza elastica.* Se la forza elastica diviene la metà, il volume diventa doppio.

Se una forza si sposta nella propria direzione si dice che produce un *lavoro*, il quale si valuta mediante il prodotto dei numeri che misurano rispettivamente la forza e lo spostamento.

Una dina che si sposti di un centimetro nella sua propria direzione produce l'unità C. G. S. di lavoro (1).

I meccanici hanno stabilito che l'energia cinetica era misurata ad ogni istante dal lavoro consumato nello spostamento. Questo lavoro si esprime esso pure in erg. Perciò il sistema formato dal peso di 1000 dine è situato a 1000 centimetri sopra il suolo, e la Terra possiede una energia potenziale eguale ad un milione di erg, che la caduta trasforma in energia cinetica. Il valore di un motore si esprime per la sua

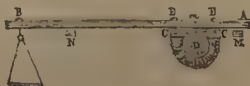



Fig. 435. — Il freno di Prony.

forza, vale a dire pel lavoro che può fornire nella unità di tempo. Generalmente il lavoro disponibile sull'albero motore si misura con una specie di bilancia che si chiama *freno di Prony* (fig. 435).

Lo studio della elettricità contribuisce ad aumentare ancora il numero delle grandezze che il fisico è quotidianamente in obbligo di misurare.

Le attrazioni o le ripulsioni che si osservano fra corpi elettrizzati, fra calamite, fra calamite e correnti, ed infine fra correnti, consentono evidentemente di collegare le grandezze elettriche o magnetiche alle grandezze meccaniche e di farle entrare così nel sistema C. G. S.

A tal uopo parecchie sono le vie che si ponno percorrere. Tutto dipende dal punto di partenza. Esporremo brevemente un mezzo per giungere alla definizione delle unità scelte dal Congresso del 1881 ed oggidì universalmente impiegate.

Prima per altro ci è necessario di insistere su alcuni fatti già segnalati e su alcune leggi.

Si introduce un voltametro in un dato circuito? il peso di elettrolito

(1) Se un peso di 1000 dine è posto ad un'altezza di 1000 centimetri sopra il suolo, produce cadendo un lavoro eguale a 1000 × 1000, ossia un milione di unità C. G. S. di lavoro. Cadendo, la velocità del corpo, e per conseguenza la sua energia cinetica, cresce rapidamente.

decomposto in un dato tempo è il medesimo, qualunque sia la posizione occupata dal voltametro lungo il circuito.

Un galvanometro conduce ad una osservazione analoga; il medesimo galvanometro intercalato in un punto qualunque del circuito indica sempre la medesima deviazione dell'ago magnetico.

Il principio dei *galvanometri* è stato indicato a pagina 99; descriviamo ora quelli che sono più impiegati.

Nel galvanometro o bussola di Pouillet (fig. 436), il filo attraversato dalla corrente è aggomitolato sopra una cornice circolare di legno A A. Nel centro di quella cornice è imperniato un ago calamitato mobile il quale porta due indici che si spostano sulle divisioni del cerchio orizzontale C. Il circolo graduato permette di misurare l'angolo che si fa descrivere al sistema M grazie all'alidada P' che si sposta nel tempo

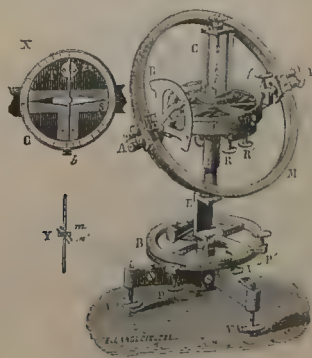



Fig. 436. — Galvanometro o bussola di Pouillet.

stesso sul cerchio. Si conduce il telajo M in una posizione ben verticale per mezzo delle viti del piedestallo V.

Nel galvanometro di Wiedmann (fig. 487) si possono far passare le correnti nei rocchetti H ed H' che è possibile avvicinare od allontanare l'uno dall'altro facendoli scorrere sul banco che li sostiene. L'ago calamitato A ha la forma circolare ed è situato nell'interno di una sfera di rame S destinata ad ammorzare i movimenti d'oscillazione dell'ago, grazie alle correnti indotte che essa vi sviluppa. Quell'ago porta uno specchietto *mm* situato nella gabbia di vetro C e per mezzo del quale si valutano le deviazioni dell'ago secondo il metodo di Poggendorff; il tutto è appeso ad un filo f attaccato in B. Quel sostegno può girare sopra un tamburo diviso T. Il piede dell'apparecchio come al solito è munito di tre viti di orizzontamento. Nel modello d'Arsonval, l'ago è a ferro di cavallo. L'ago calamitato del galvanometro Bourbouze (fig. 438) oscilla sopra un piano a guisa del giogo di una bi-

lancia: esso porta una lunga lancetta che si sposta sopra un cerchio graduato. I poli dell'elettromotore si collegano ai serrafili A e B'.

Per liberarsi dall'azione esercitata dal campo magnetico *terrestre* sugli aghi dei galvanometri, od almeno per attenuarla in gran parte, in guisa da aumentare la sensibilità dell'apparecchio, spesso si fa uso di un sistema di aghi calamitati che si chiama *sistema astatico* e che, se fatto a dovere, non subisce più l'orientazione terrestre. A tal uopo basta rendere solidali due aghi calamitati identici NS e disporli parallelamente in senso inverso. Un sistema così costituito lo si vede in W (fig. 439); MM' è lo specchio che dovrà riflettere il raggio luminoso indicante la deviazione dell'equipaggio. La figura 439 B mostra l'equipaggio astatico formato di otto aghi piantati a quattro a quattro in

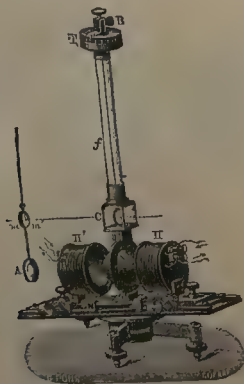



Fig. 437. — Galvanometro Wiedmann.

senso opposto. Nel galvanometro di Nobili (fig. 440) il **sistema astatico** è portato da un filo appeso ad una vite che sta nella parte superiore dell'apparecchio; uno degli aghi si muove nell'interno di un rocchetto che riceve la corrente, e l'altro all'esterno, al disopra di un disco di rame destinato ad attenuare i movimenti dell'ago; questo galvanometro è sensibilissimo.

Nel galvanometro Thomson (fig. 441) ogni ago o sistema di aghi è mobile nell'interno dei due gruppi di rocchetti sui quali il filo è avvolto in senso opposto.

Ogni gruppo è formato da due rocchetti assicurati da viti BB' ad una montatura di ebonite.

L'attenuazione si ottiene mediante l'attrito di un ago d'alluminio in forma di losanga contro l'aria.

Questo galvanometro è uno dei più perfetti, e si presta a modi svariatissimi di sperimentazione. Una calamita curva, che si può spostare

lungo un'asta verticale, consente di contrariare l'azione del campo magnetico terrestre sugli aghi magnetici quanto lo si desidera. Uno specchio è incollato sull'ago d'alluminio.

Il galvanometro Deprez d'Arsonval (fig. 442) presenta una particola-

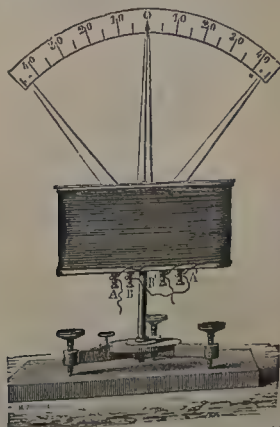



Fig. 438. — Galvanometro Bourbouze per lezioni pubbliche.

rità notevole, ed è questa, che l'ago è fisso ed il rocchetto attraversato dalla corrente è mobile. Il rocchetto poi è sospeso ad un filo metallico pel quale entra ed esce la corrente, e che qualche volta è piegato a

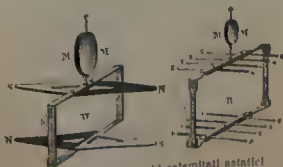



Fig. 439. — Sistema d'aghi calamitati astatici

molla. Erico Gérard ha riconosciuto che così facendo l'apparecchio funziona con maggiore regolarità.

In quegli apparecchi indicatori di correnti si può anche sopprimere ogni calamita e formarli con due rocchetti opportunatamente assestati,

uno fisso, mobile l'altro. In questa guisa si ottengono apparecchi chiamati *elettro-dinamometri.*

Nell'elettro-dinamometro Pellat (fig. 443) il rocchetto piccolo è situato all'estremità del giogo di una bilancia, la cui seconda estremità è munita di un piatto. Si pesa allora l'azione elettro-dinamica esercitata dal rocchetto grande sul piccolo. L'asse del rocchetto grande è perpendicolare a quello del rocchetto piccolo. L'azione delle correnti tende a rendere quegli assi paralleli.

Tutti questi apparecchi sono giornalmente impiegati.

Sarebbe uscire dai limiti che ci sono imposti l'insistere sulle precauzioni da prendere nelle misure galvanometriche: l'azione elettro-magnetica delle correnti è equilibrata dall' azione direttrice del campo ma-

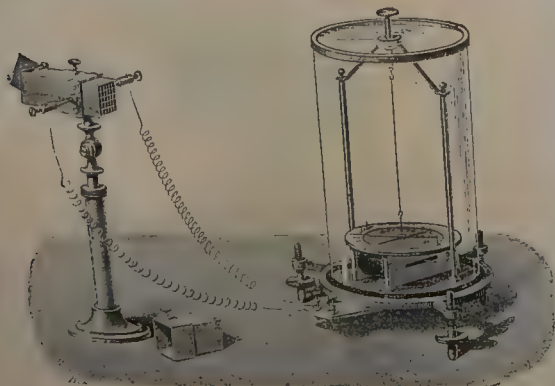



Fig. [illegible]. — Galvanometro Nobili posto nel circuito di una pila termo-elettrica di Melloni.

gnetico terrestre, o dalla torsione del filo o dei fili di sospensione dell'ago.

In certi galvanometri, per esempio nella bussola di Pouillet, si procede in modo che il campo magnetico sia uniforme nel sito ove è posto l'ago. Si può allora calcolare l'azione elettro-magnetica della corrente sull'ago o realizzare misure d'intensità dette *assolute.*

Ma è tempo di ritornare al nostro argomento.

Ripetendo quelle esperienze su diverse correnti si riconosce senza difficoltà che il peso dell'elettrolito decomposto e l'angolo di deviazione dell'ago variano nel medesimo senso: essi aumentano o diminiscono simultaneamente, o simultaneamente ripigliano il medesimo valore.

Cotali fatti impongono la nozione di intensità di corrente e forniscono i mezzi di paragonare fra esse le intensità di diverse correnti elettriche, qualunque sia l'opinione che si può avere della loro natura intima.

Avendo misurato per esempio l'intensità della corrente che attraversa

un filo di rame avente in tutti i punti la medesima sezione, e ciò facendo uso di un voltametro come fu spiegato a pagina 350, introduciamo una lunghezza nota di quel filo nell'acqua di un calorimetro; quella si scalda. Per mezzo di un' esperienza, che sarà descritta più innanzi, è facile di misurare con precisione la quantità di calore, il numero di calorie portate nel filo dalla corrente in un tempo prestabilito e cedute al calorimetro.

Ripetendo la stessa esperienza su diverse correnti, Joule ha riconosciuto che se le intensità delle correnti variano come i numeri 1, 2, 3, ecc., le quantità di calore svolto nel filo in uno stesso tempo variano come i numeri 1, 4, 9, 16, ecc., che sono i quadrati dei primi.

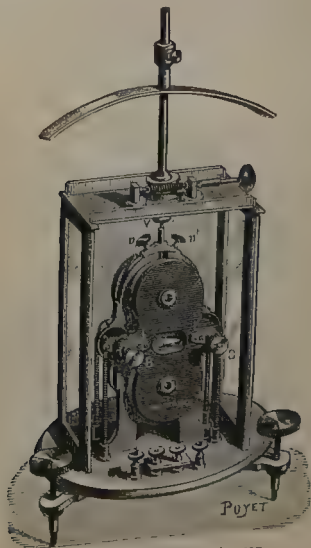



Fig. 141. — Galvanometro Thomson.

Ricominciamo gli esperimenti, ma questa volta facendo variare le dimensioni del filo immerso nel calorimetro: si verifica che se la lunghezza del filo diventa doppia, tripla, ecc., la quantità di calore ceduta in uno stesso tempo diviene essa pure doppia, tripla, ecc.; per converso essa è ridotta alla metà, al terzo, ecc., se, per una stessa corrente, il filo di rame immerso che abbia la medesima lunghezza del precedente

ha sezioni doppie, triple, quadruple, ecc. Finalmente a parità di dimensioni (lunghezza e sezione), la quantità di calore sviluppato varia quando si cambia la natura del filo; essa è più piccola con un filo di argento che con un filo di rame: per lo contrario, essa è più grande con un filo di ferro che con uno di rame. In poche parole, la quantità di calore che si svolge varia proporzionalmente alla lunghezza l del filo, in ragione inversa della sezione s, e proporzionalmente ad un certo coefficiente k che caratterizza la sostanza costituente il filo (1).

Il fattore costante $k \frac{l}{s}$ pel quale il filo metallico considerato interviene nell'espressione della quantità di calore che gli porta una cor-

Fig. 142. — Galvanometro Deprez d'Arsonval.

rente elettrica qualunque, è, per definizione, la *misura della resistenza elettrica del filo*. Il numero k si chiama la resistenza specifica della sostanza che costituisce il filo. Esso rappresenta la resistenza di un filo che ha una lunghezza ed una sezione eguale all'unità.

Questo vocabolo *resistenza* è tratto da una analogia; se si obbliga un liquido a sgorgare attraverso un tubo, la quantità di liquido che attraversa le singole sezioni in tempi eguali è la medesima quando

(1) Siccome un filo fino riceve molto più calore di un filo grosso, si capisce come sia possibile di farlo arroventare ed anche di fonderlo e di volatilizzarlo per mezzo della corrente. [illegible] in questo modo [illegible] Elihu Thomson, fondendo i punti di contatto di due sbarre avvicinate per le loro estremità con lanciare una corrente elettrica, le salda l'una all'altra.

l'efflusso è regolare; è la portata od anche l'intensità della corrente liquida; d'altra parte come, il liquido si scalda strofinandosi contro le pareti del tubo che oppone una specie di resistenza al movimento del liquido stesso. Assimilando l'elettricità al liquido, e la corrente elettrica ad uno sgorgo di elettricità lungo il filo, si comprende senza fatica in regime permanente essendo ogni sezione del filo attraversata nel medesimo tempo da una stessa quantità di elettricità — supposto che questa non possa accumularsi in nessuna parte lungo il circuito — vi possa essere un medesimo peso di elettrolito decomposto ed una indicazione galvanometrica invariabile, qualunque sia il punto di circuito ove funzionano il voltametro ed galvanometro. Si comprende inoltre che la resistenza opposta dalle particelle del conduttore, vale a

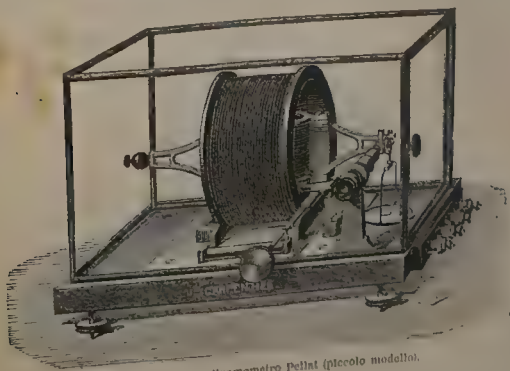



Fig. 413. — Elettro-dinamometro Pellat (piccolo modello).

dire l'attrito dell'elettricità contro di esse, determina uno svolgimento di calore lungo il circuito.

Allungando questo circuito, evidentemente si aumenta di altrettanto l'attrito: per converso lo si diminuisce aumentando la sezione del conduttore, poichè in questa maniera si offre un maggior numero di sfoghi ad una stessa quantità di elettricità. Quell'attrito non cambierà se il conduttore è attraversato dall'elettricità da destra a manca, o da manca a dritta. L'esperienza conferma tale conclusione: gli effetti calorifici delle correnti, come pure i loro effetti luminosi che sono una forma particolare dei primi, sono indipendenti dal senso della corrente. Le correnti alternative ponno essere impiegate come lo sono le correnti continue.

In conclusione se la corrente viene considerata come una circolazione di elettricità nel filo, l'intensità, la portata di quella corrente, appare come la quantità di elettricità che in regime regolare attraversa una sezione qualunque del circuito in un tempo dato, per esempio

nell'unità di tempo. L'elettromotore fornisce allora in t, unità di tempo, una carica: $Q = I t$.

Siccome si sa valutare in unità di energia una quantità di calore, è agevole sostituire alla considerazione del calore sviluppato in una data resistenza quella dell'energia equivalente.

Se W è l'energia ceduta in un tempo t ad una porzione del circuito da una corrente di intensità I, la resistenza della porzione del circuito considerato si trova, secondo le precedenti esperienze, misurata da un numero R, tale che si abbia: $W = R I^2 t$.

L'esperienza dimostra che i conduttori liquidi chiusi entro tubi o vaschette di vetro si comportano, dal punto di vista del calore sprigionato, precisamente nella medesima maniera dei conduttori solidi; la sezione del conduttore è allora la superficie degli elettrodi pei quali entra ed esce la corrente.

In particolare la resistenza introdotta dai liquidi della pila, o resi-

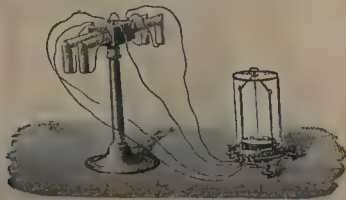



Fig. 444. – Copple termo-elettriche Pouillet in relazione col galvanometro Nobili.

stenza interna del circuito, si riduce alla metà allorchè gli elettrodi prendono una superficie doppia, oppure, se conservano la loro superficie, si avvicinano alla metà della distanza che prima li separava.

Si possono costrurre pile, dette *pile termo-elettriche*, nelle quali il calore di un focolare è direttamente trasformato in energia elettrica e la cui resistenza interna è praticamente nulla. Queste sono le pile termo-elettriche la cui scoperta si deve a Seebeck (1823). Quelle usate da Pouillet nelle sue celebri ricerche erano formate da una grossa sbarra di bismuto (fig. 444) piegata due volte ad un angolo retto, ed all'estremità della quale erano saldate larghe striscie di rame. Se le saldature vengono mantenute, per esempio la prima, nell'acqua in ebollizione e l'altra nel ghiaccio che si fonde, si riconosce che nel filo metallico che riunisce le striscie circola una corrente che va dal bismuto al rame attraversando la saldatura scaldata. L'intensità di una corrente termo-elettrica è costante sin tanto che la temperatura delle due saldature è mantenuta invariabile. Siccome poi la pila è formata da una grande sbarra di bismuto, la sua resistenza (resistenza interna del circuito) è praticamente trascurabile e tutta l'energia dell'eletto-motore viene spesa lungo il circuito esterno.

Ciò posto, immergiamo quel circuito esterno nell'acqua di un calorimetro e misuriamo l'energia ceduta in un dato tempo t. Se I è l'intensità della corrente ed R la resistenza del circuito, si ha: $W = R I^2 t$:

in un'altra resistenza, vale a dire in un altro filo, si avrebbe uno svolgimento di energia: $W' = R' I'^2 t$, ecc.

Se si formano in tutti i casi i prodotti: $R I$, $R' I'$, $R'' I''$, ecc. di ciascuna delle resistenze considerate, moltiplicate per l'intensità della corrente che la attraversa, si trova che quel prodotto è costante. Indicando con E quella costante, si ha: $E = R I$ ed anche $I = \frac{E}{R}$.

Questa è la formola nota sotto il nome di *legge di Ohm*, dal nome del fisico (1) che pel primo ne concepì l'idea, e della quale le esperienze di Pouillet fecero poi spiccare l'esattezza e l'importanza.

Quella quantità E, che caratterizza la pila impiegata e che non varia qualunque sia il filo che ne riunisce i poli, viene chiamata la *forza*

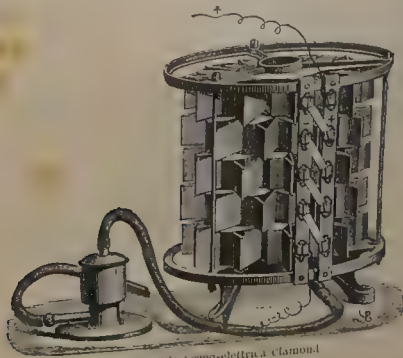



Fig. 415. — Pila termo-elettrica Clamond

elettromotrice della pila. Che la sbarra di bismuto sia più lunga o più corta, che la saldatura del bismuto e del rame si faccia su pochi punti o sopra una larga superficie, la quantità E è la medesima. Per cambiarla farebbe d'uopo costituire la pila con due metalli diversi dal bismuto e dal rame, ovverosia far variare la differenza delle temperature alle quali sono mantenute le due saldature.

Nel caso delle pile comuni che contengono liquidi, e che perciò appunto sono spesso indicate sotto il nome di pile *idro-elettriche*, si arriva ad una conclusione analoga. Tuttavia l'esperienza è più complicata pel fatto che la resistenza interna non è più trascurabile. Si facciano pure due pile Daniell (pag. 91), una delle dimensioni di un ditale e l'altra grande come una botte, e se ne riuniscano i poli con fili

(1) Ohm (Giorgio Simone), nato ad Erlangen (Baviera) il 16 marzo 1789, morto il 6 luglio 1854, professore all'Università di Monaco.

metallici qualunque: il prodotto della resistenza totale del circuito per l'intensità della corrente sarà il medesimo nell'uno e nell'altro caso; esso caratterizza unicamente la natura dei metalli e dei liquidi che costituiscono la pila (1).

Mutando la natura dei metalli o dei liquidi, si formerebbero nuove pile, ognuna delle quali sarebbe caratterizzata dal valore della rispettiva forza elettromotrice E. L'esperienza dimostra pure che pile associate in serie sommano le loro forze elettromotrici. La figura 415 mostra una pila formata da un gran numero di elementi termo-elettrici associati in serie. Le saldature scaldate sono disposte nella parte centrale dell'apparecchio.

Se si mettono alcune pile in opposizione con altre pile, le loro forze elettromotrici debbono essere sottratte.

Perchè poi codesta denominazione di forza elettromotrice data a quel fattore E?

Allorchè si prende una corrente elettrica sotto l'aspetto di una circolazione di elettricità, si è immediatamente condotti a ricercare quale è la causa che mette l'elettricità in movimento.

Avendo chiamato forza la causa che mette i corpi naturali in movimento, era naturale di chiamare, per semplice analogia, forza elettromotrice la causa della corrente elettrica.

Esaminiamo un po' più da vicino l'analogia: se è vero che un corpo cade in virtù del proprio peso, non è men vero che quella caduta è possibile solo in virtù dell'esistenza di una diversità di livello fra le posizioni occupate dal corpo e dal suolo. Perchè dunque non si potrà dire che il peso e la differenza di livello intervengono pel medesimo titolo nell'atto della caduta? Infatti non sono questi i due fattori dell'energia che sola, colla materia, ha una realtà obbiettiva in meccanica?

Dal punto di vista della corrente elettrica, la forza elettromotrice fa l'ufficio della differenza di livello; e la quantità di elettricità che circola, quello del peso.

La legge di Joule dà in fatti per l'energia W sviluppata in un tempo eguale a t unità: $W = R I^2 t$, ed anche: $W = R I . I t$, essendo R la resistenza totale del circuito ed I l'intensità della corrente.

Per definizione la quantità Q di elettricità messa in circolazione è eguale al prodotto dell'intensità della corrente pel tempo durante il quale esiste: $Q = I t$; per conseguenza si può scrivere: $W = R I . Q$.

Ora notando che il prodotto $R I$ è costante e misura precisamente ciò che abbiamo chiamato la forza elettromotrice della pila o dell'elettromotore, si può scrivere: $W = E Q$.

L'energia messa in giuoco quando Q unità di elettricità fanno un giro completo nel circuito, è eguale al prodotto di Q per la forza elettromotrice dell'elettromotore. Perciò E appare come l'energia che risulta dalla circolazione di una unità di elettricità lungo il circuito formato dall'elettromotore.

Se un peso P cade da un'altezza H, per esprimere l'energia W

(1) In una data dinamo, la forza elettromotrice varia colla velocità di rotazione dell'indotto. Essa è costante per una nota velocità di rotazione.

messa in giuoco dalla caduta del peso, si ha parimenti la formola: $W = HP$.

Il medesimo peso cadendo da altezze diverse dà luogo a un lavoro diverso. Parimente l'energia che risulta dalla caduta di una stessa quantità di elettricità lungo un circuito qualunque, dipende unicamente dalla forza elettromotrice dell'elettromotore. Se questa è grande, le correnti che produce vengon dette *ad alta tensione*, ovvero anche ad alta pressione; per converso, son dette *a bassa tensione*, ovvero a bassa pressione, se la forza elettromotrice che le rende possibili è debole.

Un'analogia farà afferrare ancor meglio il senso di quelle denominazioni.

Se l'acqua sgorga, lungo un tubo, da un serbatojo nel quale vien mantenuta ad un livello invariabile in regime regolare una stessa quan-

Fig. 416. — Elettrometro condensatore di Volta. *M N* Condensatore, *t* foglie d'oro.

tità d'acqua attraverserà ogni singola sezione del tubo in tempi eguali: questa è la portata o l'intensità della corrente liquida; d'altra parte esisterà in ogni punto una pressione dell'acqua che va regolarmente aumentando di mano in mano che si scende lungo la corrente. In uno stesso punto del tubo la pressione è sempre la medesima, qualunque sia, grande o piccolo il diametro del tubo stesso; essa aumenta sempre più se si aumenta l'inclinazione del tubo. La portata dipende dalla sezione del tubo e la pressione della corrente dalla sua inclinazione all'orizzonte. Per una debole inclinazione, la corrente liquida è a bassa pressione; se il tubo è molto inclinato, la corrente liquida è ad alta pressione; benchè ad alta pressione la portata potrà essere piccola se la sezione del tubo di scarico sarà piccola. Vi son qui due elementi bene distinti ai quali corrispondono in elettricità l'intensità della corrente e la forza elettromotrice.

Se dal serbatojo sgorga nell' unità di tempo un peso d' acqua P, la quantità d'acqua che attraversa una sezione qualunque del tubo in un tempo eguale a t unità è evidentemente espressa dal prodotto: $P\,t$, e l'energia che risulta dalla caduta di quell'acqua da un'altezza H è eguale: $P\,H.\,t$.

Piantando in quel punto una ruota idraulica, un motore, l'energia disponibile nell'unità di tempo è eguale a $P\,H$.

Questo prodotto si chiama per definizione la forza o la potenza del motore.

Parimente l'energia fornita nell' unità di tempo da un elettromotore è eguale al prodotto $E\,I$.

Fig. 447. — Condensatore di Faraday.

$E\,I$ misura la forza dell'elettromotore. Si può misurare quella forza per mezzo del quoziente $\frac{E^2}{R}$, poichè, secondo la legge di Ohm, I ha il medesimo valore del quoziente $\frac{E}{R}$.

Ogni volta che si vuole tradurre in fatto un impianto elettrico, vi ha luogo a studiare quali elettromotori sieno opportuni al caso pratico e quale sia la linea da stabilire per ottenere la forza necessaria.

La forza elettromotrice si manifesta anche in un altro modo quando il circuito è aperto.

Infatti, collegando ciascun polo dell'elettromotore alle armature di un condensatore, si riconosce che quel condensatore si carica. Per tale esperienza si può far uso dell'elettroscopio (fig. 446) munito di un condensatore. Appena si solleva il piatto superiore di questo, veggonsi divergere le fogliette d'oro portate dall'altro piatto.

Se una delle fogliette d'oro dell'elettroscopio tocca una verga metal-

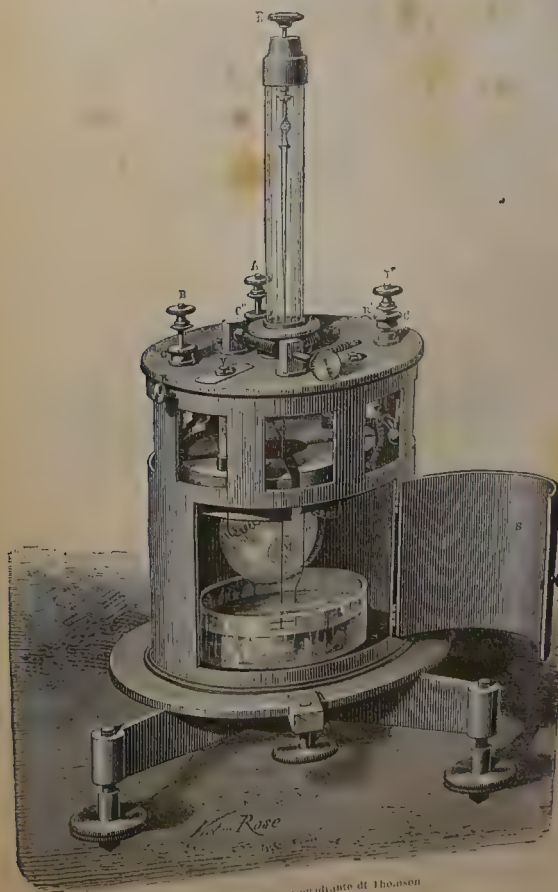



Fig. 118. — Elettrometro a quadrante di Thomson

lica in comunicazione col suolo, essa gli cede la carica. Ogni contatto corrisponde evidentemente ad una stessa perdita di carica del piatto; per conseguenza il numero dei contatti necessarii per iscaricare completamente il piatto misura la quantità di elettricità che l'elettromotore gli aveva fornita.

Si trova così che le cariche del condensatore sono proporzionali alle forze elettromotrici dei generatori che le hanno fornite (1).

Se Q rappresenta la carica ed E la forza elettromotrice dell'elettromotore, si ha $Q = C E$; la quantità C varia quando si cambia di condensatore, e la si chiama *capacità elettrica* dell'apparecchio; essa aumenta quando la superficie del condensatore diviene più grande o quando diminuisce lo spessore dell'isolante (2).

Noi abbiamo stabilito diverse leggi partendo dalla misura dell'intensità delle correnti per mezzo del voltametro.

Questo per altro non fu il punto di partenza adottato dal Congresso del 1881: esso seguì un'altra via.

Incominciò col definire prima di tutto l'unità $C. G. S.$ di quantità

Fig. 449. — Campione dell' Ohm legale, copia dei prototipi.

di magnetismo nord. Questa è rappresentata dalla quantità di magnetismo che devono possedere due poli nord identici, situati ad un centimetro di distanza, per respingersi con una forza eguale ad una dina.

Mercè la legge delle azioni elettromagnetiche stabilita da Biot e Sa-

(1) Colando del solfo fra le armature P e C di un condensatore sferico (fig. 447) Faraday ha riconosciuto che la capacità di quel condensatore era aumentata. Fu Cavendish, quegli che prima di ogni altro scoprì, nel 1771, che i fenomeni elettrici possiedono intensità diverse quando si modifica la natura dell'isolante che separa i corpi elettrizzati.

Questo è un fatto importantissimo.

(2) La deviazione delle foglie d'oro dell'elettroscopio (fig. 446) è tanto maggiore quanto più grande è la forza elettromotrice di carica; si capisce come sia possibile di graduare un tale apparecchio in guisa da ottenere per semplice lettura la forza elettromotrice di carica. L'apparecchio diviene così un *elettrometro*, e ve ne ha di diversi tipi; descriveremo solo l'elettrometro a quadrante di Thomson (fig. 448), che è il più usato.

La parte mobile è formata da un ago di alluminio a foggia di 8 sospeso per un bifilare alla vite H. Quell'ago è mobile fra i quattro settori di una scatola metallica tagliata secondo due dei suoi diametri rettangolari. Questi settori son sostenuti da colonne di vetro assicurate da una parte al coperchio della gabbia che contiene l'organo principale dell'apparecchio. I due settori opposti sono collegati tra loro da un filo metallico, ed ogni paio di settori comunica rispettivamente coi serrafili B e B'. Il serrafilo A comunica coll'ago. Lo specchio indicatore delle deviazioni è in M dietro un vetro P. Esso è incollato ad un filo metallico la cui estremità pesca in una vaschetta contenente acido solforico. Alcuni capi di fili attaccati ad angolo retto sul platino servono ad ammorzare, col loro attrito contro l'acido, le oscillazioni del filo di alluminio.

Sarebbe troppo astratto lo spiegare come funzioni tale apparecchio ed i diversi modi di impiegarlo.

Esso permette di ottenere facilmente la forza elettromotrice di un elettromotore, ed anche la forza elettromotrice che questo mantiene fra due punti qualunque del circuito nel quale esso produce la corrente.

vart, l'unità *C. G. S.* d'intensità di corrente, si definisce come segue: la corrente che ha per intensità uno è quella che deve circolare in un filo formante una circonferenza di un centimetro di raggio, perchè un polo situato nel suo centro sia respinto con una forza eguale a 6 dine 2832 ($2\pi r = 2 \times 3.1416 = 6.2832$).

La legge di Joule dimostra che allora l'unità *C. G. S.* di resistenza è la resistenza di un filo nel quale una corrente eguale alla unità *C. G. S.* sviluppa in un secondo una quantità di calore equivalente ad un erg.

La legge di Ohm definisce in seguito l'unità di forza elettromotrice: è quella di un elettromotore che produce una corrente eguale all'unità di corrente, quando la resistenza totale del circuito è essa pure eguale all'unità.

Fig. [illegible] — Campione di resistenza.

Parimente, la formola $Q = It$ mostra che l'unità di carica elettrica è quella che attraversa in un secondo la sezione di un circuito percorso da una corrente di intensità uno.

La capacità unitaria è quella di un condensatore che prende una carica eguale all'unità, allorchè la forza elettromotrice di carica è eguale all'unità.

Sono queste le grandezze elettriche che il più sovente si devono misurare. Ma tali unità, nelle misure ordinarie, condurrebbero a numeri troppo grandi o troppo piccoli, perciò si adottano nella pratica unità multiple o sottomultiple delle precedenti.

L'unità di resistenza, quale noi l'abbiamo definita, è estremamente

piccola, perciò le si sostituì un'unità un miliardo di volte più grande alla quale si diè il nome di *Ohm*.

Dopo lunghi e penosi lavori si trovò che la resistenza di un ohm è molto approssimativamente rappresentata da quella di una colonna di mercurio di un millimetro quadrato di sezione, 106 centimetri di lunghezza e mantenuta ad una temperatura eguale a quella del ghiaccio che si fonde.

Ad una tale colonna si diè il nome di *Ohm legale* (fig. 449); essa rappresenta rispetto alle resistenze ciò che rappresenza il metro nella misura delle lunghezze.

Si ponno costruire campioni di resistenza con tubi pieni di mercurio e contorti in guisa da essere meno ingombranti (fig. 450).

Sovente si assettano rocchetti, il cui valore in ohm è noto, entro cassette chiamate *cassette di resistenza*. Per introdurre la resistenza di

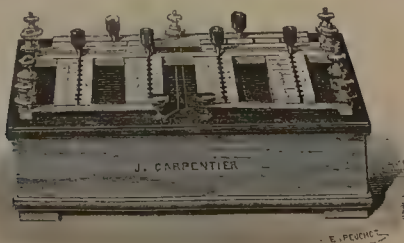



Fig. 451. — Cassetta di resistenza.

quei rocchetti nel circuito fa mestieri levare i bischeri a testa di ebonite che si veggono sulla figura. Si può ottenere quel numero di ohm che si vuole operando come se si volesse scrivere un numero in cifre, sempreché la cassetta contenga unità, decine, centinaja e migliaja di ohm (fig. 451).

Al pari dell'unità di resistenza, anche l'unità di forza elettromotrice è troppo piccola. In pratica si prende una forza elettromotrice cento milioni di volte più grande. A questa si diè il nome di *Volt* in onore di Volta.

La forza elettromotrice di una pila Daniell è sensibilmente eguale ad un volt.

L'unità pratica di intensità si trova essere allora dieci volte più piccola dell'unità teorica: le si diede il nome di *Ampère*.

Non vi ha campione di Ampère, che è la corrente mantenuta da un volt in una resistenza di un ohm.

Al pari dell'unità pratica di intensità, l'unità pratica di quantità elettrica, di carica, è dieci volte più piccola dell'unità teorica. Le si diede il nome di *Coulomb*.

Finalmente l'unità pratica di capacità è la capacità di un conden-

satore che una forza elettromotrice di un volt carica di un coulomb. Questa fu chiamata *Farad* dal nome di Faraday.

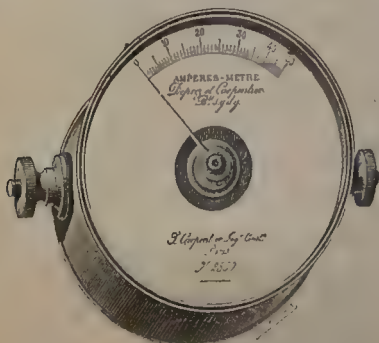



Fig. 452. — Amperometro Deprez e Carpentier.

Fig. 453. — Galvanometro industriale Carpentier.

Si fanno capacità graduate in farad. Sono condensatori chiusi in cassette e dei quali si può impiegare una frazione variabile.

Riepilogando diremo: le intensità di corrente si misurano in am-

père, le forze elettromotrici in *volt* (1), le resistenze in *ohm* (2), le cariche in *coulomb*, le capacità in *farad*, o meglio in *microfarad* (milionesima parte del farad). Il *megohm* vale invece un milione di ohm.

Ci sono apparecchi industriali graduati che fanno conoscere immediatamente colla semplice ispezione di un ago l'intensità della corrente che li attraversa in ampère e la forza elettromotrice del generatore in volt. Quegli apparecchi si chiamano *amperometri* (fig. 452) e *voltametri* (fig. 275). Essi fanno il medesimo ufficio del manometro nella condotta di una macchina a vapore.

(1) Per misurare la forza elettromotrice di un elettromotore, si riuniscono i suoi poli mediante un filo metallico che comprende un elettrometro — per esempio quello di Lippmann, poi si intercala nel circuito un'altra forza elettromotrice nota e che si può far variare a piacimento in guisa che essa tenda a produrre nel circuito una corrente di senso contrario alla

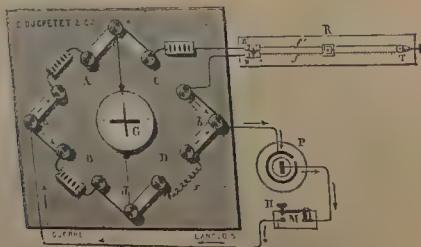



Fig. 454. — Ponte di Wheatstone.

precedente. A questa forza elettromotrice di paragone si dà per tentativi un valore tale che l'elettrometro indichi zero. Allora l'effetto della forza elettromotrice incognita è compensato, per conseguenza essa ha per valore la misura attuale della forza elettromotrice di paragone. Si opera in questo caso come nella misura delle forze meccaniche; *si equilibra* una forza elettromotrice incognita con una forza elettromotrice che si conosce.

(2) Si paragonano le *resistenze* per mezzo del Ponte di Wheatstone (fig. 454). Una pila P fornisce una corrente che si divide in due porzioni al punto a; una di esse va al polo negativo della pila per la via $a\,c\,b$, l'altra segue la via $a\,d\,b$: in A B C si trovano delle cassette di resistenza; inoltre in R vedesi un filo fino che si chiama reostato del quale si può intercalare nel circuito $a\,b\,c$ quella frazione che si stima dal caso. In x si dispone la resistenza da misurare. Dopo aver riunito i punti c e d con un filo metallico che si dice *il ponte* e che comprende il rocchetto di un galvanometro G, si fanno variare le resistenze introdotte dalle cassette B A C e dal reostato fino a che l'ago del galvanometro assume la posizione che terrebbe se non ci fossero le pile. Allora si leggono le resistenze introdotte dalle cassette e dal reostato. La teoria dimostra che la resistenza x è tale che $x \times A = B \times C$, formula che fa conoscere x in ohm, se le cassette di resistenza ed il reostato furono graduati in ohm (*).

(*) Stimiamo opportuno riportare qui la bella definizione della resistenza elettrica e della forza elettromotrice che togliamo dall'opera: *L'elettricità nelle sue principali applicazioni* di G. Pappetti, ingegnere capo della città di Udine (1891).

« L'unità di resistenza elettrica si può definire: *la resistenza di un conduttore nel quale il passaggio di una corrente di intensità eguale a uno produce, in ogni unità di tempo, una quantità di calore equale ad una unità di lavoro meccanico.*

« L'unità di forza elettromotrice è quella con la quale *spendendo in ogni unità di tempo un lavoro eguale a uno, si produce una corrente di intensità eguale a uno*, ovvero la differenza di potenziale fra due punti A e B, *quando una unità di elettricità, passando da A a B produce un lavoro eguale a uno.* »

Da queste due definizioni appare più chiaro il legame che unisce queste grandezze elettriche al sistema C. G. S.

Nota del Trad.

L'unità pratica di lavoro scelta dal Congresso del 1889 è il *Joule*, che vale dieci milioni d'erg.

L'unità di forza di un motore è il *Watt*, che è la forza di un motore capace di fornire in un secondo dieci milioni di erg. Il cavallo vapore vale 736 watt. Nel sistema metrico vale 75 chilogrammetri. Un motore che è capace di sollevare cento volte 75 chilogrammi ad un metro d'altezza in un secondo, possiede una forza eguale a 100 cavalli-vapore od a 73 600 watt.

Certi apparecchi industriali, noti sotto il nome di *wattometri* fanno conoscere ad ogni istante la forza sviluppata dal generatore elettrico.

Tale è nelle sue grandi linee il sistema di misure adottato, e la cui invariabilità è garantita da campioni costrutti con gran cura e conservati al riparo da ogni alterazione.

Non si è ancora parlato di un gruppo importante di grandezze fisiche che si collegano alla TEMPERATURA. Il loro studio forma l'obbietto dell' ENERGIA CALORIFICA della quale esporremo le proprietà principali nel libro seguente.

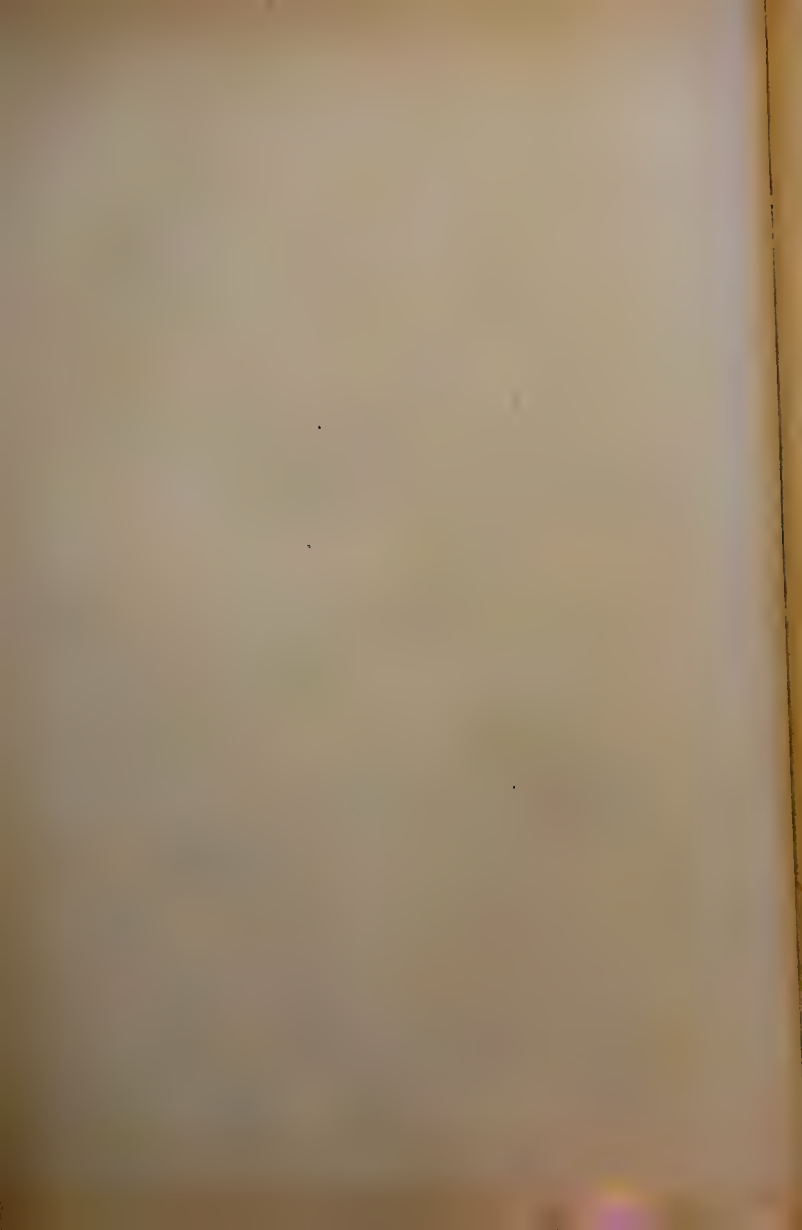
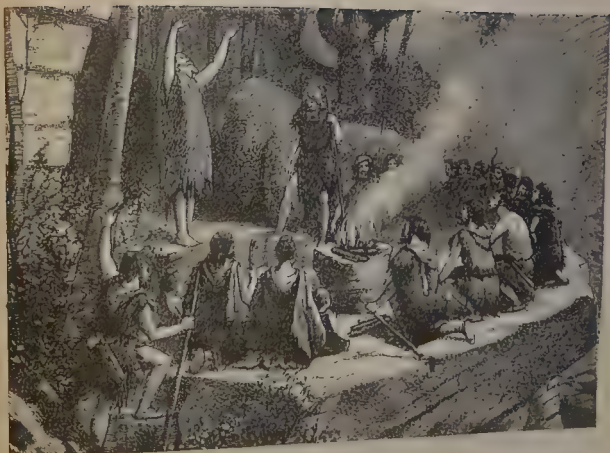



Fig. 455. — Il primo fuoco.

LIBRO QUARTO

L'ENERGIA CALORIFICA

CAPITOLO PRIMO.

L'ENERGIA CALORIFICA.

Il calore è incontestabilmente l'agente fisico del quale sentiamo ed usufruiamo più direttamente gli effetti.

Il suo ufficio si manifesta in quasi tutti i fenomeni che noi osserviamo ad ogni istante.

Nell'industria le sue applicazioni sono numerose e importanti. Il calore è anch'esso una forma di energia, come proveremo fra breve; attesochè può essere speso in lavoro meccanico, o creato da un consumo di lavoro meccanico.

Le parole *caldo* e *freddo* corrispondono a sensazioni opposte e perfettamente precisate. Tuttavia quelle due parole non indicano che stati relativi.

Se, a cagion d'esempio, si tuffa una mano in un vaso pieno di ghiac-

cio, e l'altra in uno che contiene acqua calda, le due sensazioni non si somigliano affatto: la mano tuffata nel ghiaccio *sente il freddo*, l'altra *sente il caldo*. Ma se dopo aver lasciato per qualche tempo le mani nei due vasi, si immergono in acqua che trovasi in condizioni ordinarie, le due mani provano una sensazione diversa ed opposta dalle precedenti sino al momento in cui le due sensazioni si confondono.

Due corpi essendo da prima identici, *il calore è ciò che vi ha di più nel corpo che diventa più caldo.*

Quando la sensazione del tatto è la stessa per ambo i corpi, si dice che sono alla medesima *temperatura*. Se uno diventa più caldo, la sua temperatura si alza: se diventa più freddo, la sua temperatura si abbassa. Evidentemente queste sono definizioni grossolane e provvisorie.

Per buona sorte il calore produce modificazioni di un' altra natura, suscettibili di essere apprezzate con precisione. Quelle modificazioni sono svariatissime, ma una ve ne ha che è fondamentale: la *variazione di volume* e di *dimensione*. In generale quando un corpo si scalda aumenta di volume, *si dilata;* per converso, diminuisce di volume, *si contrae,* quando si raffredda.

Il calore allontana le une dalle altre le particelle di un corpo legate dalla coesione. Per esso la forza di coesione diminuisce, ed il corpo, se era solido, può essere condotto allo *stato liquido;* poi la coesione va ognor più diminuendo e finisce collo svanire per lasciare il posto all' espansibilità quando il liquido diventa un corpo gasoso, un vapore.

La medesima sostanza passa così successivamente per tre stati principali; l'acqua, per esempio, può essere solida, liquida o vapore.

Qualche volta un corpo passa dallo stato solido allo stato di vapore senza transizione visibile. Questo è il caso per esempio del jodio solido che scaldato emette senza fondersi un bel vapore violetto. Questo fatto si dice una *sublimazione*.

In generale la distillazione conduce allo stato gasoso; ma il gas continua ancora a dilatarsi.

Prendiamo un vaso pieno d'aria comunicante per mezzo di un tubo di svolgimento colla parte superiore di una provetta piena di mercurio e riposante sopra una vasca da mercurio.

Scaldiamo il vaso: attraverso la provetta si svolgono bollicine che salgono alla parte superiore cacciando indietro il mercurio.

L'aria dunque si dilata sotto l'azione del calore; essa si rarefà ognor più e tende verso quel quarto stato della materia che Faraday chiamava *stato radiante*.

Ricominciamo da capo la stessa esperienza attaccando al tubo di svolgimento un sacchetto di carta: non tarderem molto a vederlo gonfiare ed elevarsi nell'aria.

L'aria scaldata è dunque più leggiera dell'aria fredda. Essa si inalza nell'aria fredda in vista del principio d'Archimede (pag. 512).

Che cosa succederà se in luogo dell'aria si scalda un altro gas? Studiamoci di saperlo.

Prendiamo una serie di vasi identici pieni di gas diversi, e disponiamoli tutti sul medesimo focolare, vedremo le provette riempirsi di un eguale volume di gas.

In altri termini, la dilatazione nelle medesime circostanze è indi-

pendente dalla natura del gas. L'ossigeno, l'azoto, l'idrogeno, ecc., si dilatano tutti.

Ripetendo la medesima operazione sui liquidi, si verifica agevolmente, in primo luogo, che la loro dilatazione è assai minore di quella dei gas ed inoltre che varia secondo la loro natura. L'alcool si dilata assai più dell'acqua, ecc.

Se i liquidi son chiusi nei vasi, avvertesi un'anomalia: sembra da prima che il calore li contragga, ma la contrazione è una semplice apparenza che dipende dalla dilatazione che a tutta prima subisce il vaso (1).

Confrontiamo la dilatazione dell'acqua con quella, per esempio, dell'alcool.

Due palloni identici, della stessa capacità, sormontati da un tubetto di piccola sezione, son pieni, uno di alcool e l'altro di acqua. Tuffiamo i palloni nell'acqua calda: i livelli per uno stesso piano orizzontale si abbassano simultaneamente: è l'involucro che si dilata: ma ecco l'effetto del calore che incomincia a farsi sentire sul liquido: i livelli si alzano, quello dell'acqua lentamente, quello dell'alcool assai più in fretta. Altri liquidi conducono ad eguali risultati, perchè ciascuno di essi possiede una dilatazione che gli è propria.

Se estraiamo i palloni dal bagno ove sono immersi, i livelli si abbassano progressivamente e vengono a ripigliare la loro prima posizione nel loro tubo.

Il pallone che contiene l'acqua vien esso immerso in una mescolanza refrigerante, per esempio, di ghiaccio frantumato e di sale marino: che cosa succede? Succede che il livello dell'acqua si abbassa ancora nel tubo; l'acqua dunque si contrae raffreddandosi; ma la contrazione si arresta ed il livello dell'acqua risale: il raffreddamento dilata dunque ora quell'acqua che da principio contraeva. La maggior parte dei liquidi non presentano tale anomalia.

Se una bottiglia di ferro, anche molto grossa, vien riempita d'acqua, chiusa con un tappo a vite, poi tuffata in una mescolanza frigorifera, l'acqua si contrae, ma ad un dato momento si dilata, la sua prigione divien troppo angusta, e nulla può resistere allo sforzo di quella dilatazione: la bottiglia scoppia. A codesta particolarità presentata dalla dilatazione dell'acqua è collegata come necessaria conseguenza la persistenza di un calore moderato in fondo alla massa d'acqua anche durante i freddi più rigidi. Questa circostanza da una parte, e dall'altra la leggierezza specifica del ghiaccio, come pure la poca conducibilità dell'acqua, hanno per effetto di sottrarre alla morte gli animali e le piante che popolano i ruscelli, i fiumi, il mare.

« Cotali fatti, dice Tyndall (2), eccitano a buon diritto la nostra meraviglia; in realtà, i rapporti della vita colle condizioni essenziali della sua esistenza, codesto adattamento generale nella natura dei mezzi al fine, eccitano al più alto grado l'interesse del filosofo; ma quando si tratta di fenomeni naturali, fa mestieri vigilare sui nostri sentimenti perchè potrebbero spesso volte spingerci, senza che ne dubitassimo, ad

---

(1) Infatti non si verifica che una dilatazione risultante chiamata *dilatazione apparente*.
(2) *Il calore modo di movimento*, per John Tyndall.

oltrepassare i limiti del fatto. Per esempio, io intesi sovente invocare quella proprietà dell'acqua come una prova irrefragabile ed unica nel suo genere dei propositi della natura e della sua benevolenza. Perchè, si diceva, l'acqua godrebbe di una proprietà così mirabile, se non fosse per difendere la natura contro sè stessa?

« Ciò avrebbe qualche parvenza di vero, se l'acqua, la sola acqua, possedesse tale proprietà, il che non è. Voi vedete questa bottiglia di ferro spaccata da cima a fondo; io la spezzo con un martello ed il suo interno vi appare occupato da un nucleo metallico.

« Quel metallo è bismuto; lo versai nella bottiglia quando era fuso, e chiusi la bottiglia con una vite esattamente come nel caso dell'acqua.

« Il metallo si è raffreddato, si è solidificato, si è dilatato, e la forza di espansione bastò per far scoppiare la bottiglia.

« In questo caso non c'erano pesci da salvare, e nondimeno il bismuto fuso si diportò precisamente come l'acqua.

« Mi sia permesso di dirlo una volta per tutte: il fisico finchè agisce da fisico non ha nulla a che vedere collo scopo, coi propositi, colle cause finali; in altre parole la sua missione è di indagare ciò che la natura è, non perchè lo è; il che non toglie che al pari degli altri, e forse più degli altri, debba sentirsi compreso di ammirazione in presenza dei misteri che lo circondano da tutte le parti e dei quali i suoi studii non sono in grado di dirgli l'ultima parola. »

Chiediamo ora all'esperienza ammaestramenti intorno alla dilatazione dei solidi.

Prendiamo due sbarre di lunghezza eguale, l'una di rame, l'altra di ferro, e collochiamo la sbarra di ferro in un *pirometro a quadrante*.

Quel pirometro consta di due colonnette piantate sopra una tavola di legno.

Una di esse porta una leva il cui braccio lungo è costituito da un indice capace di muoversi sopra un quadrante diviso, nel centro del quale si trova l'asse di rotazione della leva. L'altra colonnetta possiede una vite di pressione per potervi attaccare la sbarra. Questo apparecchio è simile al comparatore (pag. 495).

La sbarra di ferro è disposta in guisa che quando è nelle condizioni ordinarie, la sua estremità tocchi la leva e l'indice si trovi sopra lo zero della graduazione; poi la si scalda mediante una lampada a gas.

Allora l'asta si allunga, e siccome ad una delle sue estremità è solidamente fissata, tutto l'effetto della dilatazione si porta sull'altra estremità che fa muovere la leva e per conseguenza l'indice che perciò viene spostato.

Spento il gas, l'asta si raffredda, si contrae, e l'ago ritorna allo zero della graduazione, cioè alla posizione iniziale.

Sostituiamo ora alla sbarra di ferro quella di rame; l'indice nella sua massima deviazione si ferma sopra un'altra divisione del quadrante e si trova maggiormente lontano dallo zero, benchè posto nelle medesime condizioni.

La sbarra di rame si è dunque dilatata più di quella di ferro che ha la medesima lunghezza. Il fatto si osserva ancor meglio scaldando le due sbarre poste una accanto all'altra e immerse nel medesimo bagno.

Ecco qua due lamine della medesima lunghezza; una è di platino, l'altra d'argento, e sono saldate assieme per modo che sembrano formare un unico nastro perfettamente piano.

Scaldiamole; siccome la lamina d'argento è più dilatabile di quella di platino, essa si allunga di più; per conseguenza il nastro si curva e si avvolge, e la sua faccia convessa resta formata dalla lamina d'argento.

Un corpo solido aumenta di volume sotto l'azione del calore. Ciò si dimostra così: un anello metallico è assicurato per mezzo di una vite

Fig. 456. Pendolo a compensazione di Brocot.

di pressione sopra un'asta curva che alla sua estremità sostiene una palla dello stesso metallo dell'anello. La sfera ha un diametro tale che a freddo passa esattamente attraverso l'anello. Appena la si scalda, essa si dilata e non può più passare. Scaldiamo ora contemporaneamente anello e sfera; vedremo allora la sfera passare nuovamente attraverso l'anello. Dunque un corpo vuoto si dilata come un corpo massiccio.

La capacità di un corpo vuoto si dilata come una massa della medesima sostanza che ne riempisse la cavità.

Se l'anello fosse di ferro e la sfera di rame, anche scaldando contemporaneamente tutto l'apparecchio, la sfera non passerebbe più per

l'anello, attesochè il rame si dilata più dell'anello di ferro. Questa disuguaglianza di dilatazione dei corpi solidi viene usufruita nell'orologeria.

L'esperienza dimostra che i pendoli di eguale lunghezza oscillano nel medesimo tempo se di poco si allontanano dalla verticale. Questo principio delle oscillazioni isocrone è la base di diversi apparecchi destinati alla misura del tempo.

E siccome il calore modificando la lunghezza del pendolo ne modifica per ciò appunto la durata della oscillazione, questa diminuisce se il pendolo si allunga. Da ciò consegue che un orologio regolato da un pendolo ritarderà se il pendolo stesso si scalda, avanzerà se quello si raffredda. Per attenuare quegli effetti si usano, nell'orologeria di precisione, parecchi congegni che diconsi *pendoli compensatori* od *a compensazione*.

Il pendolo a compensazione più in uso è quello di Brocot, che consta (fig. 456) di un'asta di ferro che sostiene una lente metallica.

Dalla parte superiore emanano due aste di rame *c c* che per l'intermediario delle leve *a a* e dei pernii *t t* assicurati alla lente, la rialzano quando si scaldano.

I bracci di leva sono scelti in guisa tale che per l'effetto inverso delle dilatazioni del rame e del ferro, il centro della lente rimanga sempre alla medesima distanza dall'asse di sospensione.

La forza di trazione che accompagna la dilatazione dei solidi addirittura è enorme; per convincersene basta calcolare lo sforzo meccanico che sarebbe mestieri di esercitare per produrre un effetto equivalente. Prendiamo come esempio una sbarra di ferro di un centimetro quadrato di sezione e lunga 8 metri che si fa passare da un bagno di ghiaccio che si fonde ad un bagno di acqua bollente. In questo passaggio la sbarra in questione esercita sugli ostacoli fissi che le vengono opposti al momento della dilatazione uno sforzo di 2500 chilogrammi.

Si può trar partito della dilatazione o della contrazione delle verghe metalliche per esercitare sforzi enormi. Molard, antico direttore del Conservatorio d'arti e mestieri a Parigi, fece collegare con sbarre di ferro due muraglie di una galleria che strapiombavano e minacciavano di ruinare. Scaldò le sbarre al rosso ed allora le fece stringere strettamente al di fuori con robustissime viti. Le sbarre rafreddandosi ricondussero le muraglie nella verticale.

Giova notare che la dilatazione dei metalli, piccolissima quando il suo valore si riferisce all'unità, può divenire notevole se la lunghezza che si dilata è per sè stessa considerevole. La linea ferrata che si stende da Parigi a Marsiglia è lunga circa 800 chilometri: ora, siccome una sbarra di ferro lunga un metro tra il massimo freddo del verno ed il massimo caldo estivo può dilatarsi di metri 0,0006, l'intera linea Parigi-Marsiglia nei limiti di quel periodo avrà subito una variazione di 480 metri, variazione grandissima e tale che, se le guide al momento della posa formavano una linea continua, strapperebbe o spezzerebbe la linea.

Abbiamo veduto che i solidi si dilatano in tutti i sensi e che la loro dilatazione, per esempio per l'unità di lunghezza, varia col variare della loro natura.

Ciò non basta, dovendosi anche aggiungere che i diversi corpi subiscono non solo dilatazioni variabili sotto l'azione del calore, ma che uno stesso corpo può dilatarsi in diverse proporzioni nei varii sensi.

Prendiamo un frammento di spato d'Islanda (fig. 383). La misura degli angoli dati dalle faccie, quando si scalda il cristallo, indica variazioni angolari, il che mostra essere avvenuto un cambiamento di lunghezza variabile colla direzione considerata. La dilatazione più notevole ha luogo secondo l'asse AA' del cristallo. Fra quell'asse ed il piano che gli è perpendicolare la dilatazione prima diminuisce a misura che la si osserva secondo una linea più inclinata sull'asse; essa diventa nulla per una certa inclinazione; poi, aumentando ancora l'inclinazione, si verifica per lo contrario una contrazione che raggiunge il suo massimo effetto in una direzione perpendicolare all'asse. Tuttavia, il volume del cristallo aumenta, attesochè l'effetto della dilatazione è maggiore di quello della contrazione.

Fu Mitscherlich che per il primo fece conoscere un tale fatto riferibilmente allo spato.

Fizeau studiò di nuovo l'argomento, e le sue osservazioni furono dirette su gran numero di sostanze. Nelle sue indagini egli si giovò delle proprietà degli *anelli di Newton* (pag. 476).

Allorchè il calore prolunga la sua azione sopra un corpo solido, giunge un istante nel quale, come già fu detto, lo stato fisico del corpo si modifica: passa allo stato liquido; si dice che si *fonde*. In ciò consiste il fenomeno della *fusione*.

Taluni corpi, per esempio il carbone, hanno resistito a tutti gli sforzi che si tentarono per farli passare allo stato liquido; ma ciò deve essere attribuito solo all'insufficienza dei mezzi messi in opera, e non vale ad infirmare la generalità del principio che tutti i corpi, secondo l'azione del calore cui sono sottoposti, possono assumere lo stato solido, lo stato liquido ed anche lo stato gasoso. Giova nondimeno notare che un corpo assoggettato all'azione del calore può prima di fondersi subire una vera decomposizione. Se, a cagion d'esempio, si tenta di fondere la creta ponendola sopra un focolare intenso, quella sostanza, che non è altro che carbonato di calce, a un dato momento lascia sprigionare il suo acido carbonico e non rimane che calce; ma se si ha cura di versare la materia in un vaso ben chiuso e pieno di essa, se ne decompone solo una parte, e sotto la pressione del gas che si sprigiona un'altra porzione rimane intatta e può essere ridotta allo stato liquido. Halles, fisico del secolo scorso, fece con buon esito una serie di esperienze analoghe. Il passaggio dallo stato solido al liquido, d'ordinario si effettua repentinamente; ma non succede sempre così. Il vetro, per esempio, prima di arrivare allo stato liquido, passa per una serie di stati intermedii durante i quali presenta una consistenza pastosa che permette di stirarlo in fili estremamente fini, di soffiarlo e di dargli agevolmente le forme più svariate. Questa proprietà costituisce la base della lavorazione del vetro.

Il calore non è il solo agente che faccia passare un corpo dallo stato solido allo stato liquido. L'azione di un liquido può condurre al medesimo risultato. Gli è ciò che si verifica gettando un pezzetto di zucchero nell'acqua. Questo fenomeno, ben distinto dal precedente, porta il nome di *soluzione*. Il calore in certi casi può favorire la soluzione,

per converso, se si effettua la soluzione rapida di un corpo, si osserva produzione di freddo, spesso anche notevole.

Su questo fatto si fonda la preparazione delle *mescolanze frigorifere*. Codeste mescolanze in generale sono formate da due sostanze delle quali una almeno è solida e passa allo stato liquido producendo freddo. La mescolanza più comune è quella di due parti di ghiaccio e di una parte di sale. Avviene contemporaneamente fusione del ghiaccio e soluzione del sale nell'acqua formata, cosa che produce un doppio raffreddamento. Questa mescolanza serve a congelare l'acqua artificialmente, ed il più di sovente la si impiega nelle sorbettiere o gelatiere che servono agli usi dell'economia domestica.

Cinque parti di sale ammoniaco, cinque parti di salnitro e sedici di acqua mescolate producono il medesimo effetto.

Per le sorbettiere artificiali, generalmente si fa uso di una mescolanza di acido cloridrico e di solfato di soda.

L'apparecchio è costituito da un cilindro di latta coperto con un involucro di feltro, nell'interno del quale si versa la miscela frigorifera. In mezzo a questa si trova un vaso a foggia di U, che contiene il liquido da congelare. Talvolta si mette l'apparecchio sopra un carretto, cosa che consente di imprimergli un movimento oscillatorio che rende più attiva l'operazione.

La *solidificazione* è l'operazione inversa della fusione, è il passaggio allo stato solido di un liquido che si raffredda. Codesta trasformazione deve essere considerata come generale per sè stessa, quantunque alcuni liquidi, come l'alcool assoluto ed il solfuro di carbonio, non sien stati per anco solidificati. Succede talvolta, quando il liquido è in piccola quantità e riparato da qualsiasi agitazione, che lo si può raffreddare senza solidificarlo, sebbene altra volta nelle medesime condizioni si sia congelato. Allora si dice che il liquido presenta il fenomeno della *soprafusione*. Quando è in questo stato, basta la menoma agitazione, il contatto di una particella del solido che deve formarsi per determinare istantaneamente la solidificazione. Ciò fu dimostrato da Gernez, e d'inverno non è difficile verificare il caso coll'acqua. In una stanza molto fredda l'acqua nel bacile si conserva liquida, ma al primo contatto della persona che va per tuffarvi le mani e per lavarsi, si congela di botto.

Quando il passaggio dallo stato liquido al solido avviene lentamente, succede spessissimo che le molecole si aggruppino in guisa da presentare forme regolari e geometriche; in ciò consiste la cristallizzazione, ed i corpi regolari così ottenuti si dicono *cristalli*. La forma cristallina che presenta una sostanza è strettamente collegata alla natura della sostanza stessa, e può servire a farla riconoscere: questo è dunque un carattere di somma importanza e che nei corpi del regno inorganico è per così dire l'equivalente della forma negli esseri organizzati. Il bismuto, il solfo ci offrono un bell'esempio di questo fenomeno. Devesi poi notare che una sostanza salina sciolta, cristallizza così pel raffreddamento come per l'evaporazione del solvente.

Per ottenere cristalli ben precisi, fa d'uopo avere la precauzione di *decantare*, nel momento in cui la superficie libera incomincia a solidificarsi, la parte del solfo, del bismuto, ecc., rimasta ancora liquida.

Togliendo via la crosta superficiale si trovano le pareti laterali del vaso in cui fu versato il liquido tappezzate di cristalli bellissimi.
Se si aspettasse troppo a lungo, nell'atto che tutta la massa si soli-

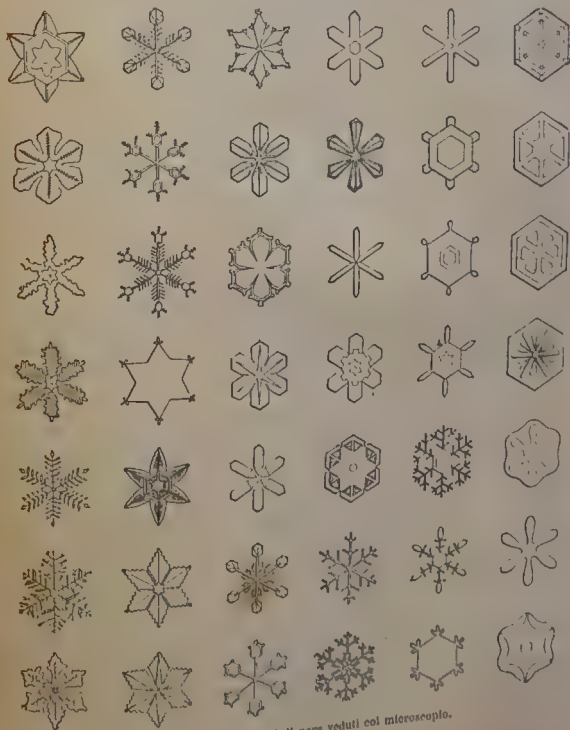



Fig. 157. — Cristalli: fiori di neve veduti col microscopio.

difica i cristalli si formerebbero confusamente penetrando gli uni negli altri e potrebbe anche scomparire ogni traccia di struttura cristallina. Il ghiaccio ci offre un esempio ben singolare di questo caso.

La tendenza ad assumere una forma cristallina ci è indicata dai disegni di foglie di felce che si formano nel verno sulle invetriate delle

finestre; essa è poi manifestata con maggior forza dalla simmetria delle figure che presentano i fiori di neve (fig. 457).

Tuttavia, in un masso di ghiaccio, codesta struttura svanisce ed allora ci sembra che il ghiaccio in massa sia *amorfo*. Tyndall, con un ingegnoso artificio, riuscì a mostrare gli elementi cristallini di cui si compone un globo di ghiaccio. Prendiamo una sottile lastrina di ghiaccio, quale si forma naturalmente d'inverno sulla superficie delle acque tranquille. Dispòniamola normalmente nel tragitto del fascio calorifico e luminoso che emana da una lampada elettrica. Una lente situata al di là permette di projettare sopra uno schermo l'imagine di ciò che avviene nel seno stesso del ghiaccio. Il calore ricevuto dalla laminetta non la fonde uniformemente; esso, contro ogni aspettativa, provoca fusioni parziali in certi punti della massa. Sul principio si vede una quantità di piccole bolle arrotondate, di colore cupo, sulle quali hanno radice alcuni raggi, generalmente in numero di sei, spazii trasparenti che provengono da una fusione localizzata. La loro forma e il loro aggruppamento figurano intorno alla palla, nuovo pistillo, i sei petali di un fiore.

In seguito si producono alterazioni, ed i petali si stendono in festoni sul loro fondo; essi si dentellano e figurano foglie di felce simili a quelle che si osservano d'inverno sulle invetriate. Il raggio calorifico a guisa di scalpello libera, isola dalla lamina di ghiaccio, come da una ganga, i cristalli e li mette a nudo. Il pistillo di quei fiori di ghiaccio è dovuto ad un vuoto parziale, che risulta dal fatto che l'acqua occupa un volume minore di quello del ghiaccio che le diede origine.

La massima parte dei corpi aumenta di volume fondendosi; per converso la loro solidificazione è accompagnata da una contrazione.

Tuttavolta sonvi eccezioni, fornite dal ghiaccio, dal bismuto, dall'argento e dalla ghisa. Ed è appunto questa eccezione che rende quest'ultima sostanza atta al getto negli stampi, perchè le consente di penetrare completamente in tutti i meandri della forma.

La dilatazione dell'acqua all'atto della congelazione è notevole, 1/14 circa. Se i ghiacci galleggiano alla superficie dei fiumi, ciò avviene per effetto di quella dilatazione che li rende più leggieri dell'acqua.

Codesta proprietà espansiva del ghiaccio è quella che nei forti geli compromette l'esistenza delle specie vegetali, come si potè verificare per la vigna, il gelso, l'olivo nelle rigide invernate. I geli più da temersi sono i tardivi che si producono in primavera e colpiscono i vegetali nel momento in cui la linfa incomincia a circolare.

Un liquido abbandonato a sè stesso all'aria libera, diminuisce a poco a poco, poi scompare intieramente. Si dice che vi fu *evaporazione* del liquido.

Quel fenomeno si produce con rapidità anche maggiore per certi liquidi che son detti più *volatili*. Il calore compie l'evaporazione. Quando si lascia cadere una goccia di etere, essa non tarda a scomparire evaporando rapidamente, mentre una goccia d'acqua impiega un tempo assai più lungo a subire la stessa trasformazione.

Non esiste differenza fra un *gas* ed un *vapore*. Un vapore è il gas prodotto dall'evaporazione di un liquido; un gas può sempre essere considerato come il vapore di un liquido.

Ordinariamente si fa uso del vocabolo *vapore* per indicare i corpi

che abitualmente si incontrano allo stato liquido o solido, come l'acqua, il solfo, ecc., mentre si serba il vocabolo *gas* pei corpi che si conoscono solo per eccezione sotto uno stato diverso, come ciò succede, per esempio, per l'acido carbonico, pel gas ammoniaco, pel cloro, ecc.

La proprietà caratteristica dei gas, l'espansibilità, la forza elastica, si manifesta facilmente nei vapori; ne è una prova l'esperienza seguente:

Si abbia un pallone, la cui guarnitura superiore possiede due aperture che permettono, una la comunicazione con un manometro ad aria libera, l'altra l'uso di un'aggiunta a robinetto comunicante con una macchina pneumatica. Si fa il vuoto nel pallone e tosto si stabilisce nei due rami del manometro una differenza di livello eguale all'altezza del mercurio nel barometro. Si chiude il robinetto e si attacca a vite su di esso un secondo robinetto la cui chiave invece di essere forata da parte a parte, presenta una sola cavità.

Si riempie l'imbuto del liquido che si vuole vaporizzare. Girando la chiave si introduce ad ogni giro qualche goccia di liquido nel pallone senza metterlo in comunicazione coll'atmosfera. Nell'istante stesso in cui il liquido cade nel pallone, la colonna di mercurio si abbassa nel ramo sinistro del manometro ed indica così un accrescimento di forza elastica. Quella forza elastica aumenta successivamente colla quantità crescente di liquido introdotto. Nel pallone non si vede traccia di liquido: questo dunque evapora di mano in mano che viene introdotto, e la forza elastica del vapore formatosi va crescendo per le nuove introduzioni di liquido, sino a che giunge l'istante in cui il manometro non indica più variazioni. Da quel momento si incominciano a vedere nel pallone alcune goccie di liquido, che si accumula a misura che si continua ad introdurne. Dunque la quantità di vapore che si può formare in uno spazio vuoto, non può oltrepassare un certo limite. Allorchè quel limite è raggiunto si dice che lo spazio è *saturo*, e la forza elastica del vapore in quello spazio saturo viene detta forza elastica massima.

Supponiamo introdotta nel pallone una quantità piuttosto notevole di liquido, e scaldiamolo. Immediatamente il manometro indica un aumento di forza elastica, mentre contemporaneamente la quantità di liquido diminuisce, e la forza elastica massima va crescendo rapidissimamente a misura che il vapore diviene più caldo.

Ripetiamo il medesimo esperimento diversamente:

Collochiamo un barometro sopra una *vaschetta profonda* (fig. 458) e facciamo passare alcune goccie di etere nella sua parte superiore. Il livello del mercurio si abbassa di subito.

Il liquido si evapora completamente, lo spazio non è saturo. Sollevando od abbassando il tubo, la forza elastica del vapore varia; essa è data ad ogni istante dalla differenza che esiste fra l'altezza della colonna sollevata e l'altezza di un barometro normale.

La forza elastica in questo caso varia col volume occupato dal vapore, e l'esperienza mostra che:

Quando i vapori non sono a contatto con un *eccesso* del liquido che loro diede origine, la loro forza elastica *segue* la legge di Mariotte, vale a dire che per una medesima massa di vapore, il volume che essa occupa è inversamente proporzionale alla sua forza elastica. Immer-

gendo ora gradatamente il tubo, la forza elastica del vapore aumenta, ma se si continua a immergere il tubo, si vedrà ad un dato momento formarsi sopra il mercurio alquanto etere liquido; ha luogo la *liquefazione parziale* del vapore di etere, e da quel momento in poi la forza elastica rimane costante; se si continua ad abbassare il tubo aumenta solo la quantità di liquido formato: la forza elastica del vapore ha raggiunto il suo valore massimo.

Noi possiamo ripetere coi medesimi apparecchi, che si usarono in precedenza, esperimenti analoghi senza fare il vuoto nel pallone che potrà contenere aria, o qualsiasi altro gas o mescolanza gasosa. Otterremo risultati identici; la saturazione si produrrà nelle medesime condizioni, con questa differenza per altro che nel vuoto il vapore si forma *istantaneamente*, mentre in un gas il fenomeno avviene più lentamente.

Gay-Lussac, che studiò quel fenomeno, lo compendiò nelle due leggi seguenti:

1.° *Il vapore si produce in eguale quantità e con la medesima forza elastica in uno spazio pieno d'un gas ed in uno spazio vuoto;*

2.° *Quando uno spazio già pieno di un gas si satura di vapore, si ottiene la forza elastica della miscela aggiungendo alla forza iniziale del gas la forza elastica massima del vapore.*

Quando un liquido contenuto in un vaso aperto viene scaldato per un tempo sufficiente, l'evaporazione che da principio succede alla superficie non vi rimane confinata; ad un dato momento si formano nel seno stesso della massa del liquido bolle di vapore che vengono a spaccarsi alla superficie, e che imprimono alla massa un movimento più o meno tumultuoso accompagnato da un certo fracasso. Si dice allora che il liquido entrò in *ebollizione*.

Studiamo il corso del fenomeno in un pallone di vetro contenente, per esempio, acqua.

Le pareti del pallone scaldate, trasmettono per le prime il calore al liquido a contatto con esse. Siccome lo strato liquido scaldato diventa più leggiero, sale alla superficie ed è surrogato da uno strato d'acqua fredda più pesante; questo si scalda a sua volta, sale alla superficie e viene surrogato da un altro più freddo, e così via discorrendo. Si stabilisce così una doppia corrente di strati freddi che discendono e di strati caldi che salgono, in guisa tale che tutta la massa liquida si scalda gradatamente.

Quei movimenti *ascendenti* e *discendenti* si rendono evidenti spolverando il liquido con segatura di legno. La segatura disegna il cammino percorso dallo strato liquido in cui essa si trova.

Ben presto si sprigionano bollicine di gas, che sono bolle d'aria sciolta nel liquido. Poi, un po' più tardi, si forman bolle di vapore sulle pareti più scaldate, si staccano, si innalzano nelle porzioni di liquido più fredde, ed ivi scompajono sciogliendosi. La loro condensazione provoca un fremito del liquido che è pronostico della prossima ebollizione. Si dice che il liquido *canta*.

Alla fine le bolle divengono più numerose e terminano collo sprigionarsi alla superficie sollevando il liquido che gorgoglia.

Codesta agitazione del liquido è uno dei caratteri della evaporazione per *ebollizione*.

Il manometro ci consente di misurare la forza elastica massima di un vapore. Vediamo qual è il valore di questa forza nel caso speciale della ebollizione.

Introduciamo nel collo di un pallone contenente acqua in ebollizione un manometro ad aria libera nel quale il mercurio riempia il piccolo ramo, ad eccezione di un piccolo spazio occupato dall'acqua.

Si vede quell'acqua ridursi in vapore, bollire ed il mercurio assumère il medesimo livello nei due rami.

La forza elastica dell'atmosfera è dunque equilibrata dalla forza elastica massima del vapore dell'acqua in ebollizione.

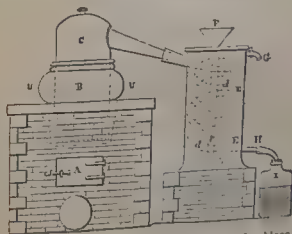



Fig. 459. — Apparecchio per distillare. — Alambicco.

L'esperienza ci apprende dunque questa legge importante della ebollizione:

Mentre un liquido bolle, la forza elastica del vapore che emette è eguale alla forza elastica dell'atmosfera esterna.

Tale è la vera definizione fisica dell'ebollizione.

Dalle esperienze di Faraday, di Dufour, ecc., risulta che:

1.° *L'ebollizione è assolutamente impossibile in un liquido privato d'aria o di un altro gas;*

2.° *L'ebollizione non si produce neanco in un liquido contenente gas sciolti, se quei gas rimangono in soluzione;*

3.° *Essa ha luogo appena appajono le bolle di gas.*

La natura del vaso può arrecare ritardo all'ebollizione di un liquido a cagione dell'aderenza esercitata dalle sue pareti sulle bolle gasose.

In certi casi di evaporazione, il contatto colle pareti solide non esiste più.

Questo modo di evaporazione si dice *calefazione*.

Se si piglia una capsula d'argento fortemente scaldata, e vi si versa dentro una piccola quantità d'acqua, il liquido, in luogo di stendersi alla superficie della capsula e di volatilizzarsi prontamente, si riunisce in un globulo che gira senza posa sopra sè stesso e si evapora con una *certa lentezza*, senza che vi abbia ebollizione sensibile.

Se si cessa dallo scaldare la capsula, essa si raffredda; l'acqua ad un dato momento si stende sul fondo, e si riduce subitamente in vapore, facendo intendere un crepitio più o meno intenso.

Questo fenomeno era conosciuto anche dagli antichi.

Boutigny, nel 1842, ne fece oggetto di nuove indagini molto particolareggiate, ed è a lui che si deve la parola *calefazione* che serve ad esprimerlo.

La calefazione si può produrre con ogni sorta di liquidi, anche volatilissimi, e si riconosce che durante la calefazione il liquido non bolle affatto.

In un crogiuolo di platino scaldato al rosso bianco si può far congelare l'acqua ed anche il mercurio. Questa singolare esperienza fu ideata da Boutigny.

Basta versare nel crogiuolo, scaldato al rosso bianco, acido solforoso liquido, il quale si *calefà*, prende lo stato sferoidale, e la sua lenta evaporazione produce un freddo che solidifica un po' d'acqua gettata nel crogiuolo. Sul fondo del crogiuolo incandescente si forma un ghiacciuolo.

Se all'acido solforoso si sostituisce il protossido d'azoto liquido, e all'acqua il mercurio, questo si solidifica istantaneamente pel suo contatto col liquido.

Ma come mai un liquido può esso rimanere in quello stato in mezzo ad un crogiuolo incandescente?

La ragione di tale fenomeno la si trova nel fatto che un liquido calefatto non bagna e per conseguenza non tocca il vaso che lo contiene.

Questo fatto poi si dimostra coll'esperimento seguente: Si dispone un disco d'argento piano perfettamente orizzontale; lo si fa scaldare e ci si versano sopra alcune goccie d'acqua che assumono lo stato sferoidale. Col sussidio di un filo di platino che penetra nel globulo si mantiene questo presso il centro del disco.

Una candela situata da una parte del globulo, mentre si guarda dall'altra, permette di distinguere distintamente lo spazio che separa il globulo dal disco.

Si può anche lanciare il fascio luminoso dell'arco elettrico in guisa che rasenti la superficie metallica, ed allora con una lente convergente, opportunamente collocata, si può projettare sopra uno schermo l'imagine ingrandita della goccia d'acqua e dello spazio lineare molto luminoso che la separa dal disco.

Perkens potè esercitare una pressione di 60 atmosfere su acqua calefatta in un tubo di ferro, senza che quella volesse passare attraverso una piccola apertura praticata nel tubo.

Certi fenomeni sino allora incomprensibili trovano una spiegazione naturale nella teoria della calefazione.

Si videro talfiata caldaje a vapore scoppiare durante il loro raffreddamento. Ciò dipende dal fatto che l'acqua d'alimentazione essendo spesso calcare, copre la caldaja di un involucro solido che isola l'acqua dall'involucro metallico.

Imaginiamoci quell'involucro arroventato, poi abbandonato al raffreddamento. La corteccia calcarea può spaccarsi e l'acqua arrivare a contatto del metallo. Si produce la calefazione; ma continuando il raf-

freddamento la calefazione cessa, e l'acqua repentinamente vaporizzata può causare l'esplosione della caldaja.

Boutigny giustifica codesta spiegazione coll'esperimento seguente:

Una piccola bottiglia di metallo viene scaldata *fortemente:* alcune goccie d'acqua projettate nell'interno si calefanno. Allora si tura robustamente la bottiglia e la si abbandona al raffreddamento.

Nell'atto in cui cessa la calefazione, l'acqua istantaneamente si trasforma in vapore ed il tappo salta, mentre un getto di vapore sfugge dal collo della bottiglia.

Certi fatti stimati meravigliosi si spiegano ora senza difficoltà.

Nel medio evo, certi delinquenti o come tali ritenuti, venivano condannati a leccare un ferro rovente. Spesso la saliva a contatto del metallo incandescente calefacevasi e la lingua sottratta al contatto del ferro non si bruciava.

Del resto si può impunemente tagliare colla mano uno zampillo di ghisa incandescente, purchè si sia avuto la precauzione di bagnare la mano con un liquido volatile, come sarebbe l'alcool o l'etere.

Gli è in questo modo che certi saltimbanchi destano lo stupore del pubblico facendo scorrere sulle loro braccia il piombo fuso.

La conoscenza dei fenomeni generali che si riferiscono alla ebollizione dei liquidi e delle leggi che la concernono permette di comprendere la soluzione di due quesiti di grande interesse pratico:

1.° Essendo dato un liquido che contiene disciolte sostanze fisse, come sarebbero in generale le materie saline, isolare quel liquido allo stato di purezza;

2.° Essendo dati più liquidi mescolati, ma di volatilità diverse, separare gli uni dagli altri.

Codeste operazioni, conosciute molto anticamente, portano il nome di *distillazione.*

L'acqua dei rigagnoli, delle sorgenti, non è pura, perchè contiene quasi sempre sali in soluzione. Per diversi usi della chimica si ha d'uopo di liberarla da quelle diverse sostanze allo scopo di avere un liquido puro.

L'apparecchio che serve a quest'uopo dicesi *alambicco.*

Questo apparecchio, che credesi inventato dagli Arabi e chiamasi anche *tamburlano,* consta di una caldaja B detta *cucurbita,* chiusa da un *capitello* o cappello C che per mezzo di un'*allunga* comunica con un tubo d piegato ad elica e chiamato *serpentino* (fig. 159). Il serpentino pesca in un vaso E pieno d'acqua fredda. Il vapore che emana dall'acqua portata ad ebollizione nella cucurbita, raffreddato da quell'acqua si condensa nel serpentino e l'acqua distillata viene raccolta nel vaso L.

La condensazione del vapore non tarda a scaldare l'acqua del vaso.

Per evitare tale inconveniente la si rinnova, ed a tal uopo un tubo F che riceve acqua fredda continuamente pesca sino nel fondo del refrigerante, mentre un tubo b situato nella parte superiore lascia sgorgare il soverchio.

Si riempie la caldaja per circa tre quarti, ma se si vuole acqua pura è indispensabile di non spingere la distillazione troppo innanzi, e di fermarsi quando l'acqua della caldaja è ridotta ad un quarto del suo volume iniziale.

Quando si distilla una mescolanza di due liquidi inegualmente vo-

latili, sul principio dell'operazione vien distillato un miscuglio nel quale la proporzione del liquido più volatile si trova aumentata.

Operando nella stessa maniera sul miscuglio ottenuto, si arriva ad un risultato analogo, e ripetendo più volte la distillazione si giunge ad ottenere una mescolanza nella quale domina il liquido più volatile senza per altro ottenerlo allo stato di purezza. Gli è così che altra volta si estraeva dal vino il *trois-six*, cioè l'alcool a 36°.

Questo metodo, detto delle distillazioni frazionate, richiede lunghe operazioni che aumentano il prezzo di costo, perciò gli fu sostituito con vantaggio il metodo della distillazione continua.

Prima di condurre il vapore della mescolanza dei liquidi nel serpentino lo si fa passare in un apparecchio chiamato *rettificatore*. In questo la temperatura è meno elevata che nella caldaja, in guisa tale che il liquido meno volatile può condensarvisi e ritornare alla caldaja, mentre il vapore dell'altro si trasporta nel serpentino ove si opera la condensazione.

Tutte le volte che un liquido evapora senza che intervenga l'azione di un focolare, si raffredda. È per questa ragione che se si versa sulla mano dell'etere si prova un senso di freddo molto spiccato.

Fig. 460.

Questo è pure il principio sul quale si fondano gli *alcarazas*, quei vasi di terra porosa che servono per mantenere l'acqua fresca nei paesi caldi. L'acqua di cui si riempiono trasuda dai pori della terra ed evapora sulla superficie esterna producendo freddo.

Si può agevolmente congelare l'acqua col freddo risultante dalla sua evaporazione, per mezzo di un esperimento dovuto a Leslie, fisico scozzese, e da lui eseguito nel 1817.

Si colloca sotto la campana della macchina pneumatica un vaso largo e pieno di acido solforico (fig. 460). Una piccola capsula di rame sottilissima che contiene alcune goccie d'acqua si appoggia con tre piedi sull'orlo del vaso. Si fa il vuoto; l'acqua evapora rapidamente e viene assorbita, a misura che si forma, dall'acido solforico, e non si deve aspettare a lungo per veder comparire il ghiaccio.

Edmondo Carré costruì su questo principio un apparecchio che consente di ottenere in pochi istanti una massa di ghiaccio notevole.

Quell'apparecchio (fig. 461) consta di un serbatojo di piombo, contenente acido solforico, al quale è saldato un tubo piegato due volte ed all'estremità del quale si può adattare mediante gomma elastica una caraffa contenente acqua. Il serbatojo comunica con una pompa pneumatica. Alla leva della pompa si collega una verga metallica che, mentre quella agisce, mette in movimento un agitatore o rimescolatore posto nell'acido, il quale rinnova la superficie di assorbimento.

Il freddo prodotto dipende dalla rapidità della evaporazione.

È evidente che l'evaporazione sarà tanto più rapida quanto più piccola sarà la quantità di vapore del liquido contenuto nell'atmosfera ambiente. Perciò l'esperimento di Leslie non riuscirebbe guari se non vi fosse l'acido solforico che assorbe il vapore d'acqua di mano in mano che si forma.

La rapidità della evaporazione cresce altresì al crescere della superficie di contatto del liquido e dell'atmosfera ambiente.

Gli è in questo principio che si trova la spiegazione della sensazione di freddo che si prova all'uscire da un bagno, quando il corpo è coperto da una moltitudine di goccioline liquide.

In un'aria perfettamente calma l'evaporazione è lenta, poichè lo strato d'aria a contatto col liquido è ben presto saturo. L'agitazione dell'aria invece attiva l'evaporazione. Un vento alquanto forte asciuga in breve il suolo bagnato dalla pioggia. Un lenzuolo bagnato esposto al vento si asciuga rapidamente, e tanto più rapidamente quanto più secco è il vento.

D'estate, quando la pelle è madida di sudore, si deve evitare di sof-

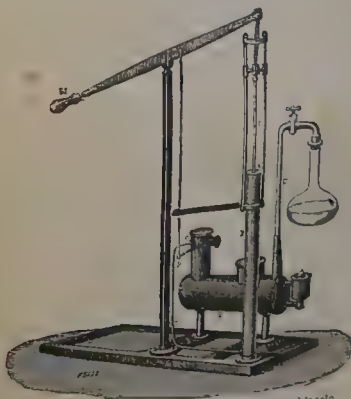



Fig. 461. — Apparecchio Carré: produzione del ghiaccio.

fermarsi in una corrente d'aria che potrebbe determinare una infreddatura funesta, causa la rapidità dell'evaporazione del sudore.

Un liquido evapora tanto più facilmente quanto è più caldo, poichè la forza elastica del suo vapore cresce colla temperatura.

D'altra parte, l'inalzamento della temperatura del mezzo ambiente accelera l'evaporazione portando indietro il limite di saturazione dell'ambiente stesso.

Il carattere più spiccato dal quale si riconosce che un vapore possiede la sua forza elastica massima, è la presenza del liquido che gli diede origine. *Liquefare un gas* non vuol dir altro che condurre quel corpo a possedere la sua forza elastica massima, poichè in quel momento la menoma diminuzione di volume deve far comparire il liquido che gli diè origine.

Un vapore posto in condizioni affatto opposte a quelle che presiedettero alla sua formazione, ripiglia lo stato liquido.

Durante l'inverno, il vapore acqueo che esiste in una abitazione scaldata ripiglia lo stato liquido a contatto delle invetriate raffreddate dall'aria esterna.

Il vapore che esce dai nostri polmoni colla respirazione si condensa in nebbia arrivando nell'aria fredda. Un vapore ritorna parzialmente allo stato liquido, allorchè si dà alla sua forza elastica il valore massimo, poichè allora diventa vapore saturo.

Codesto cambiamento di stato si chiama *condensazione*. Nel modo stesso che l'evaporazione consuma calore, il ritorno del vapore allo stato liquido deve riprodurne una quantità esattamente eguale. Infatti la condensazione è accompagnata da uno svolgimento di calore. Il riscaldamento a vapore si basa appunto su tale rivificazione del calore d'evaporazione nell'atto che il vapore si condensa.

Assoggettando i gas sia ad un *raffreddamento*, sia ad una *compressione*, sia infine ai due mezzi contemporaneamente, è possibile di ricondurli *senza eccezione di sorta* allo stato liquido.

Davy fu il primo che riuscì in questo genere di tentativi, liquefacendo il cloro. Dopo di lui, Faraday pervenne a convertire in liquidi gran numero di gas.

Quando un gas possiede una forza elastica massima, inferiore alla forza elastica dell'atmosfera, per un freddo che è possibile di ottenere, lo si liquefa facendolo arrivare in un tubo che sbocca nell' atmosfera e posto in una mescolanza refrigerante opportuna.

Gli è in questo modo che contornando il tubo di ghiaccio, si liquefano l'acido ipoazotico, l'acido ipocloroso, ecc.

Facendo uso di una mescolanza di ghiaccio e di sale per raffreddare il tubo, si liquefa l'acido solforoso.

Il cloro, il cianogeno, l'ammoniaca furono liquefatti da Drion e Loir producendo il freddo mediante la rapida evaporazione dell'acido solforoso liquido.

Il gas assoggettato all'esperimento deve, perchè questo riesca, essere puro. Infatti se si operasse sopra un gas mescolato con un altro, il gas che si vuole liquefare non avrebbe nella mescolanza la forza elastica dell'atmosfera, e, pel freddo prodotto, la forza elastica del gas potrebbe essere inferiore alla sua forza elastica massima che, come abbiamo detto, si deve raggiungere perchè la liquefazione sia possibile.

Cailletet potè raffreddare i gas ad un grado che sarebbe stato impossibile raggiungere con un solo miscuglio refrigerante. A quest' uopo egli si servì del raffreddamento intenso prodotto dall'*espansione* o scompressione subitanea del gas assoggettato all'esperienza.

Egli comprimeva il gas sotto una pressione di 200 a 300 atmosfere riducendolo ad un volume di pochi centimetri cubici, poi sopprimeva istantaneamente la pressione e permetteva al gas di ripigliare in un tratto il suo volume primitivo. Codesta espansione del gas aveva per effetto la produzione di una nebbia, segno di liquefazione e per conseguenza di un freddo notevole.

Ritorneremo più innanzi sulla spiegazione di questo fenomeno. Cailletet opera nel modo seguente:

Egli raccoglie il gas puro e secco in una provetta di vetro *T T*. La parte inferiore della provetta è larga circa due centimetri e curvata all'estremità. La parte superiore è quasi capillare.

Si conduce il gas puro e secco per un raccordo di cauciù impegnato sull'estremità curva della provetta tenuta orizzontalmente, l'estremità capillare essendo aperta. Il gas spazza via l'aria e asciuga le pareti della provetta. Si chiude alla lampada l'estremità affilata, poi si drizza la provetta mentre una goccia di mercurio va a toccare la parte curva ed impedisce che l'aria rientri.

Dopo ciò la provetta viene messa in un serbatojo *B* (fig. 462) di ferro a pareti robustissime contenente mercurio. La parte larga della provetta vien posta tutta intiera nel serbatojo, e solo la parte capillare sbocca nell'acqua. Una piccola pompa aspirante e premente *G* injetta acqua nel serbatojo *B* e comprime il mercurio della provetta. Questa si trova compressa egualmente al di fuori e al di dentro, di maniera che, quantunque sottile, può resistere alle maggiori pressioni.

Il gas è costretto a non occupare più che una minima porzione del tubo capillare e possiede allora una forza elastica che può superare le 300 atmosfere. Il manometro metallico *M* indica quella forza elastica.

In quel momento si gira il robinetto *V*; l'acqua compressa sfugge dal tubo *d* ed il manometro indica immediatamente la pressione atmosferica.

L'espansione si è prodotta e nel tubo regna una nebbia che è indizio della liquefazione del gas.

Intorno al tubo si mette un manicotto *M* pieno di acqua fredda che raffredda il gas scaldato per effetto della compressione. Un ampio cilindro *C* protegge l'operatore in caso di esplosione.

Cailletet riuscì con questo mezzo a liquefare l'ossigeno, l' idrogeno, l'azoto, l'ossido di carbonio, il biossido d'azoto, il formene, gas ritenuti sino allora *permanenti* nel loro stato (1877).

I metodi che abbiamo fatto conoscere costituiscono il modo di liquefazione per semplice raffreddamento. Si può operare la liquefazione per compressione.

In questo caso si può agire per mezzo di una pompa sopra una massa di gas del quale si riduce il volume.

L'apparecchio del Cailletet, usato in consimili casi, dà risultati molto buoni.

Cailletet potè pur anco, senza servirsi della espansione, ridurre allo stato liquido colla sola compressione l'acido solforoso, l'acido carbonico, il protossido d'azoto, ecc.

Berthelot ha indicato un mezzo semplice e molto ingegnoso per assoggettare un gas ad una pressione enorme.

Egli chiude il gas nel tubo di un grosso termometro a mercurio. La parte alta del tubo viene raffreddata con una mescolanza frigorifera. Per converso il serbatojo viene scaldato ed il mercurio sale per effetto della sua dilatazione comprimendo il gas. Il limite della compressione è quello imposto dalla resistenza del tubo. Berthelot si serviva di termometri capaci di sopportare una pressione di oltre 800 atmosfere.

Si può operare la compressione in guisa assai diversa aumentando il gas in un recipiente resistente. Si attinge il gas per mezzo di una pompa e lo si spinge nel recipiente nel quale si vuole liquefarlo.

Faraday liquefò la massima parte dei gas producendoli mediante una reazione chimica nell'interno di un vaso chiuso. Siccome la massa del gas va ognor più aumentando, la pressione cresce sino a che la lique-

fazione incomincia. Si arriva al medesimo risultato colla *dissociazione* (1).

La prima idea di questo metodo appartiene a Davy, ma fu Faraday che la mise in pratica.

Supponiamo, per esempio, che si tratti di liquefare il gas ammoniaco. Si piglia un tubo molto resistente piegato ad U (fig. 463), nell'interno del quale si introduce in C del cloruro d'argento ammoniacale. Si scalda quella estremità e si raffredda l'altra A. Il cloruro, che può assorbire parecchie centinaja di volte il suo volume d'ammoniaca, lascia sprigionare quel gas; ma siccome questo non può occupare che uno spazio circoscritto, si comprime e raggiunge in breve la sua forza elastica massima. Da quel momento in poi nel ramo raffreddato del tubo compare il liquido.

L'acido carbonico, prodotto dall'azione dell'acido solforico sopra un carbonato di calce, polvere di marmo per esempio, situato in un recipiente robusto, si precipita in un condensatore che fa l'ufficio del ramo raffreddato dell'apparecchio di Faraday. Aprendolo, l' acido carbonico sfugge; nell'evaporarsi una parte solidifica l'altra parte, che si presenta allora sotto la forma di un corpo solido, bianco, spugnoso, cattivissimo conduttore del calorico e che abbandonato all'aria libera si riduce in vapore con molta lentezza. L'acido carbonico commerciale che si spedisce in involucri d'ovatta serve a preparare mescolanze refrigeranti (2).

Pictet, a Ginevra, combinando il metodo della compressione con quello del raffreddamento, pervenne nel medesimo tempo di Cailletet a liquefare i gas reputati permanenti.

Ora che conosciamo i fenomeni generali del calore, precisiamone le proprietà.

Le sensazioni di caldo e di freddo non potrebbero servire di guida sicura per lo studio dei fenomeni calorifici; divien dunque necessario introdurre una grandezza che rappresenti lo stato di riscaldamento di un corpo, la qualità del calore che esso possiede. Questa grandezza è la *temperatura*.

Parlando di uno stesso corpo noi diremo quindi che la sua *temperatura si alza o si abbassa* a norma che esso si scalda o si raffredda, e che la sua temperatura è *stazionaria* quando non subisce nè riscaldamento, nè raffreddamento.

Collochiamo in uno stesso recinto a temperatura stazionaria, durante tutto l'esperimento, parecchi corpi diversamente caldi, e riconosceremo che i più caldi si raffreddano, mentre i più freddi si scaldano; in capo ad un lasso di tempo più o meno lungo quei fenomeni opposti non si producono più, ed i corpi si costituiscono in uno stato di equilibrio calorifico.

Noi diremo che in quello stato, quei corpi ed il recinto possiedono la *medesima temperatura*. Emerge da ciò che se un corpo A cede

(1) Decomposizione di un corpo limitata ad ogni temperatura da una forza elastica fissa del gas sviluppato.

(2) Si trovano egualmente in commercio bariletti pieni di cloruro di metile, d'acido solforoso, di protossido d'azoto, d'ossigeno ecc., liquidi. Il motore del *fucile Giffard* è per l'appunto costituito dalla evaporazione rapida di un gas liquefatto.

parte del proprio calore ad un corpo *B*, *A* si raffredda e *B* si scalda; ma siccome alla fine dell'esperimento tutti e due possiedono la medesima temperatura, e che la temperatura di *A* è diminuita, mentre quella di *B* è aumentata, ne risulta che al principio dell'esperimento la *temperatura di* A *era più alta di quella di* B. La temperatura sarà dunque il fattore principale che definisce lo stato calorifico di un corpo, il fattore che regola gli scambii di calore: sarà, per così dire, la qualità fondamentale del calore.

Abbiamo studiato i fenomeni di dilatazione prodotti in generale per riscaldamento, quelli di contrazione prodotti per raffreddamento.

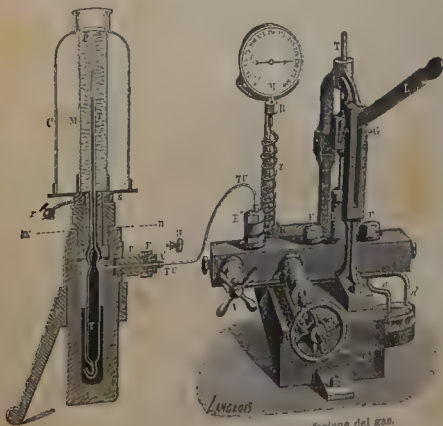



Fig. 462. — Apparecchio Cailletet per la liquefazione del gas.

Secondo la definizione della temperatura, diremo:

Il volume di un corpo che sopporta internamente una stessa pressione, dipende dalla sua temperatura: in generale, esso aumenta se la temperatura si alza, diminuisce se la temperatura si abbassa, e ripiglia sempre il medesimo valore per la medesima temperatura, semprechè il corpo non abbia subito veruna alterazione.

Abbandoniamo all'aria un pallone contenente un liquido e del quale il collo sia formato da un lungo tubo di piccola sezione; noi vedremo che il volume del liquido varia. Dunque l'aria atmosferica non conserva sempre la medesima temperatura. Per avere indicazioni comparabili, che abbiano un senso, è indispensabile di avere *temperature invariabili.*

Mettiamo il nostro apparecchio nel ghiaccio che si fonde. Il livello del liquido non tarda molto a stabilirsi in un punto che quando si

mette il pallone nel ghiaccio che si fonde è sempre il medesimo, e ciò qualunque sieno le variazioni di temperatura che si producono nell'atmosfera che circonda il ghiaccio in fusione. Un tale fatto si enuncia dicendo che il ghiaccio che si fonde possiede sempre la *medesima temperatura.*

Questo fatto non è speciale al ghiaccio; esso si estende a tutti i corpi in fusione e noi possiamo enunciare questa legge generale:

La temperatura di un corpo che si fonde rimane invariabile per tutta la durata della fusione. Ben inteso che la temperatura cambia colla natura del corpo.

C'è anche un altro fenomeno che ci dà temperature costanti. Se mettiamo il nostro apparecchio testimonio nel vapore di un liquido in ebollizione, verifichiamo che il suo livello rimane invariabile, e l'esperienza ci consente di enunciare la seguente legge generale:

Uno stesso liquido posto in condizioni esterne identiche, incomincia sempre a bollire alla medesima temperatura.

Per tutta la durata dell'ebollizione, la temperatura del liquido rimane costante.

Noi possediamo quindi una serie di temperature fisse, ma vi ha ancora di più; la temperatura di un vapore saturo di un liquido in ebollizione, varia non solo colla natura del liquido, ma eziandio *cresce colla forza elastica dell'atmosfera che lo circonda.*

Fig. 173.
Tubo di Faraday.

Questa proprietà permette di ottenere una *serie continua*, illimitata, di temperature fisse.

Prendiamo un corpo e consideriamo una qualità di quel corpo. Quella qualità può definire la sua propria temperatura. Così, per esempio, il volume apparente di un liquido può, come abbiam detto poc'anzi, definire la temperatura di quel liquido.

Quel corpo ed il mezzo che lo circonda raggiungono, in capo ad un certo tempo, un equilibrio di temperatura; se la temperatura del corpo è nota, sarà nota anche quella dell'ambiente. Quel corpo vien detto un *termometro.*

Il termometro è dunque un sistema che dinota la propria temperatura, e per conseguenza quella del recinto ove è in equilibrio.

Von Helmont (1), sul principio del XVII secolo, sembra essere stato il primo che facesse menzione della temperatura. Egli descrive un istrumento composto di una palla piena d'acqua, sormontato da un tubo di vetro nel quale l'acqua sale o discende.

L'invenzione del termometro viene attribuita a Cornelio Drebbel, che ne preconizzò l'uso sul principio del XVII secolo.

Il suo termometro constava di una palla di vetro prolungata da un tubo verticale immerso in un vaso contenente acqua acidulata. La bolla era riempita d'aria alquanto rarefatta; l'acqua, acidulata perchè resistesse al gelo, si alzava nel tubo a livelli diversi, secondo la temperatura.

Quell' istrumento, così costrutto, era sensibile alle variazioni della pressione atmosferica di cui allora si ignorava l'esistenza.

(1) Giovanni Battista von Helmont, nato a Bruxelles nel 1577, morto nel 1644.

Gli accademici del Cimento a Firenze costruirono il primo termometro a liquido. La temperatura nel loro istrumento era indicata dalla dilatazione dell'alcool.

La scelta opportuna del corpo di cui si vuol fare un termometro è cosa di sommo rilievo.

Bisogna rigettare come agenti termometrici: 1.° i corpi che ad una certa temperatura presentano un minimo di volume, poichè in tal caso uno stesso volume corrisponderebbe a due temperature diverse; 2.° i corpi che subiscono un'alterazione chimica sotto l'azione del calore; 3.° i corpi che per effetto del riscaldamento subiscono una alterazione meccanica. La massima parte dei corpi solidi, ed in particolar modo i metalli ed il vetro, se son obbligati a passare repentinamente da una temperatura ad un'altra, subiscono una specie di tempera che modifica la struttura delle loro molecole.

Se, a cagion d'esempio, misurassimo la lunghezza di una bacchetta di vetro tuffata nel ghiaccio che si fonde, poi la rimettessimo nello stesso ghiaccio dopo averla scaldata, non troveremmo più per la sua lunghezza la medesima misura. Essa non ripiglierà la sua primitiva lunghezza alla temperatura del ghiaccio che si fonde, se non in capo ad un certo tempo variabile, e spesso molto lungo.

I liquidi ed i gas non presentano tale inconveniente; perciò si deve accordar loro la preferenza; malauguratamente essi devono essere chiusi in involucri solidi che introducono nell'osservazione della dilatazione apparente del gas o del liquido la loro dilatazione irregolare.

Il fluido, dopo esser stato scaldato, ripiglierebbe volontieri il medesimo volume alla medesima temperatura (semprechè situato in condizioni esterne identiche), ma la capacità dell'involucro ha variato, e quella variazione snatura l'indicazione del termometro.

I liquidi si dilatano più dei solidi, ed i gas più dei liquidi, di maniera che tale causa di errore, già quasi trascurabile nell'osservazione della dilatazione apparente di un liquido, diviene insignificante per quella di un gas.

Come si può graduare un termometro, e per effetto di quali convenzioni si possono comparare le temperature?

Una *scala termometrica* è la formola convenzionale della definizione delle temperature, ed un *sistema termometrico* è il complesso delle considerazioni che fissano i valori numerici delle costanti della formola di definizione.

Le scale da principio furono arbitrarie, e la graduazione bizzarra del termometro era regolata soltanto dal capriccio di ogni fisico. Alcuni di essi marcavano il grado di freddo al punto ove si arrestava l'alcool durante un freddo rigoroso d'inverno, altri, come gli accademici del Cimento, alla temperatura delle cantine del loro osservatorio.

In quanto al grado di caldo, esso era notato vuoi al livello ove si fermava l'alcool allorchè l'istrumento era esposto ai raggi del sole, vuoi a quello che raggiungeva stretto nella mano di un « febbricitante. »

Roberto Royle pel primo, verso la metà del secolo XVII, propose come *punto fisso* la temperatura del ghiaccio che si fonde. Ma un solo punto di riferimento non bastava.

Newton, nel 1701. costruì un termometro con olio di lino e riferì le sue misure a sei punti fissi, che erano le temperature:

1.° Del ghiaccio che si fonde; 2.° del sangue umano; 3.° della fusione della cera; 4.° dell'ebollizione dell'acqua; 5.° della fusione di una lega di stagno, piombo o bismuto; 6.° della fusione del piombo.

È evidente che sino a tanto che la graduazione del termometro rimane arbitraria, i diversi termometri non saranno fra loro comparabili, perchè ognuno di essi darà un numero diverso per una stessa temperatura.

Questo è un inconveniente che non può scomparire che colla convenzione di una *scala uniforme.*

In Francia e nella massima parte dei paesi esteri si è adottato la *scala centigrada.*

Si prende la temperatura fissa del ghiaccio fondentesi per la temperatura 0, e la temperatura fissa del vapore d'acqua pura e bollente sotto la pressione che esercita a Parigi una colonna verticale di mercurio di 76 centimetri di altezza nel ghiaccio che si fonde per la temperatura 100.

Si chiama *grado centigrado* la centesima parte della dilatazione di un corpo che passa dalla temperatura 0 alla temperatura 100.

Diremo adunque che la temperatura aumenta di un grado centigrado tutte le volte che il termometro indicherà una dilatazione che sia la centesima parte della sua dilatazione fra i punti fissi 0 e 100.

La scala termometrica continuerà col medesimo significato al di qua del punto 0 e al di là del punto 100.

Quando la temperatura è *superiore* a 0°, vien detta *positiva* e si usa anche controsegnarla col segno +; se per converso è *inferiore* a 0°, la si dice *negativa* e la si contrasegna col segno —.

Celsius (1) ideò per il primo la scala centigrada insistendo sulla necessità di due punti fissi e di due solamente. Egli scelse la temperatura del ghiaccio che si fonde e quella del vapore d'acqua bollente.

Fahrenheit, presso a poco all'istessa epoca, 1714, costruì termometri comparabili. Egli scelse per corpo termometrico l'alcool, e qualche tempo dopo lo surrogò col mercurio. Egli segnò 0° alla temperatura di una mescolanza di ghiaccio fondentesi e di sale marino in proporzioni determinate, e 212° a quella dell'acqua bollente.

In quella scala termometrica, la temperatura del ghiaccio che si fonde corrisponde alla divisione 32°.

Réaumur (2) nel 1730, costruì termometri con una mescolanza di alcool e d'acqua. Segnò lo zero della sua graduazione alla temperatura del ghiaccio che si fonde, ma alla temperatura dell'acqua bollente corrispondeva la divisione 80.

La definizione del grado centigrado può subire una modificazione nel caso che il corpo termometrico sia un gas.

Abbiamo già veduto che i gas obbediscono alla legge di Mariotte, vale a dire che per una data massa di gas alla stessa temperatura, il volume varia in ragione inversa dalla pressione sopportata.

(1) Celsius, professore di fisica all'Università d'Upsal, nato nel 1701, morto nel 1744.
(2) Renato Antonio Ferchault di Réaumur, nato alla Rochelle nel 1683, morto nel 1757.

L'osservazione del cambiamento di volume di una massa gasosa che conserva la medesima forza elastica quando varia la temperatura, si effettua con disagio ed è soggetta ad errore.

Perciò si preferisce una misura di forza elastica.

Si mantiene, quando varia la temperatura, la massa gasosa allo stesso volume, ed allora la sua forza elastica varia secondo la medesima legge

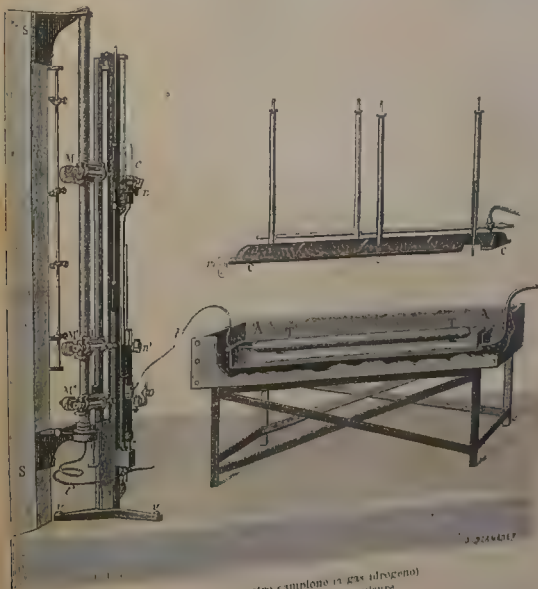



Fig. 461. — Termometro campione (a gas idrogeno) dell'Ufficio internazionale di pesi e misure.

e nel modo stesso che avrebbe potuto variare il suo volume, rimanendo costante la forza elastica.

In tal caso, il grado centigrado diventa per definizione la centesima parte della variazione della forza elastica della massa gasosa considerata, passando dalla temperatura del punto fisso 0 a quella del punto fisso 100 precedentemente definiti.

Noi siamo perfettamente certi che tutti i termometri a scala centigrade daranno la medesima indicazione nel ghiaccio che si fonde e nel vapore d'acqua bollente, ma possiamo poi affermare che il grado con-

tigrado sopra definito sia una quantità costante, qualunque sia la sostanza termometrica impiegata? Là, ove un termometro a mercurio segnerà 20°, si è ben certi che un termometro ad alcool, un termometro ad aria, un termometro ad acido carbonico debbano segnare il medesimo 20?

L'esperienza ci dimostra che ciò non succede.

Lo scarto quasi insensibile per le temperature comprese fra 0° e 100°, si accentua notevolmente per le temperature elevate. Ciò dipende in ispecial modo dal fatto che i solidi ed i liquidi seguono leggi di dilatazione diverse e variabili per uno stesso corpo colla temperatura.

Ciò posto, parrebbe che i gas, i quali, come abbiamo veduto, seguono sensibilmente una stessa legge di dilatazione, dovrebbero dare termometri perfettamente comparabili. Eppure no, poichè noi misuriamo la temperatura con un termometro a gas per mezzo della variazione a volume costante della forza elastica del gas. Così facendo noi supponiamo che il gas obbedisca alla legge di Mariotte; ora è certo che nessun gas segue rigorosamente quella legge, e lo scarto dipende dalla temperatura e dalla pressione.

È dunque di assoluta necessità il costruire un termometro normale al quale noi riferiremo poscia le indicazioni di tutti gli altri termometri. Le nostre misure così corrette diverranno comparabili.

Regnault avendo determinato con una serie di esperienze precise che l'aria, l'azoto, l'idrogeno, seguono, senza scarto notevole ed entro limiti estesi, la legge di Mariotte, prese per termometro normale il termometro ad aria.

I lavori di Regnault furono ripigliati da quel punto di vista da Chapuis, che ha costruito un termometro campione, ed il Comitato internazionale di pesi e misure ha adottato come *scala termometrica normale* la scala centigrada del termometro a idrogeno che ha per punti fissi la temperatura del ghiaccio che si fonde e quella del vapore d'acqua distillata in ebollizione sotto la pressione che esercitano a livello del mare, a 45° di latitudine, 76 centimetri di mercurio alla temperatura del ghiaccio che si fonde.

L'idrogeno era preso sotto la pressione iniziale di un metro di mercurio, vale a dire sotto una pressione che equivale a 13158 millonesimi della pressione atmosferica normale.

Il grado normale diventa dunque la centesima parte della variazione di forza elastica dell'idrogeno preso nelle condizioni precedenti, quando la temperatura varia da un punto fisso all'altro, cioè da 0° a 100°.

La figura 464 rappresenta il *termometro campione*. Il serbatorio TT' di platino iridiato ha la capacità di circa un litro e la forma di un cilindro allungato.

Esso è immerso in una vasca a doppia parete AA, ove si può introdurre a piacimento ghiaccio fondentesi, o far arrivare una corrente di vapore acqueo od anche una corrente d'acqua la cui temperatura è mantenuta costante per mezzo di agitatori.

Il serbatojo è collegato da un tubo molto sottile t ad un manometro barometrico c.

I gas costituiscono la sostanza termometrica per eccellenza. La loro grande dilatabilità, che è uguale a 140 volte quella del vetro, rende trascurabile l'influenza perturbatrice dovuta alla variazione di volume

dell'involucro. Oltre a ciò le loro indicazioni sono tali che ad aggiunte eguali di calore corrispondono variazioni sensibilmente eguali di volume.

Ma siccome il volume di un gas dipende ad un tempo e dalla sua forza elastica e dalla sua temperatura, l'uso di un termometro a gas rende necessario pur quello di un manometro, e la sensibilità stessa dell'apparecchio richiede una serie di operazioni che debbono essere effettuate colla massima precauzione.

Noi non possiam quindi pensare ad un tale istrumento che come campione, e dobbiamo rinunciare a servircene nella maggior parte delle misure usuali.

I fisici hanno adottato un istrumento tipo la cui azione fu studiata e paragonata una volta per sempre a quella del termometro normale, ed al quale si riferiscono le indicazioni di tutti gli altri; questo istrumento è il *termometro a mercurio* (fig. 465).

Il mercurio fu scelto di preferenza a tutti gli altri liquidi:

1.° Perchè è assai facile di ottenerlo chimicamente puro, e quindi di avere in tutti i termometri una sostanza identica;

2.° Perchè la sua dilatazione è molto regolare ed il suo andamento sensibilmente concordante con quello del termometro a idrogeno;

3.° Perchè si mette rapidamente in *equilibrio di temperatura* coll'ambiente nel quale è posto.

Il termometro a mercurio consta di un serbatojo di vetro contenente mercurio che ha una forma cilindro-conica sormontata da un tubo a canale strettissimo nel quale si alza il mercurio del serbatojo.

Il tubetto è graduato in parti di eguale capacità secondo la scala centigrada. Il mercurio nel ghiaccio che si fonde si arresta al segno 0, e nel vapore d'acqua bollente, sotto la pressione di 76 centimetri di mercurio, al segno 100.

L'intervallo è diviso in 100 parti eguali, ed ogni divisione corrisponde ad un grado centigrado.

Un termometro deve essere *sensibile*. Ora, si possono distinguere due specie di sensibilità: l'una consiste nella prontezza delle indicazioni, e per ottenerla fa d'uopo dare al serbatojo una superficie esterna estesa al massimo possibile ed impiegare in pari tempo una piccola massa di mercurio. L'altra dipende dallo spostamento dell'estremità della colonna nel tubo, e dipende dal rapporto che esiste fra il volume del serbatojo ed il tubetto; più quel volume sarà grande per una stessa sezione del tubo, e più grande sarà la lunghezza del grado. Ma in questo caso sarebbe mestieri aumentare la massa del mercurio e la prima specie di sensibilità ne soffrirebbe; si soddisfa a quelle due condizioni diminuendo il più che sia possibile il diametro interno del tubo capillare. Del resto la sensibilità dell'istrumento dovrà essere regolata a norma dell'uso al quale lo si destina. Nelle operazioni di termochimica, per esempio, si usano termometri che permettono di valutare i due centesimi di grado.

In questo caso, i punti fissi 0 e 100 sono marcati sul termometro, ma una o parecchie ampolle soffiate nel tubo permettono di serbare quasi l'intera totalità del tubo ad uno sviluppo parziale della scala abbracciante una diecina di gradi o giù di lì.

La graduazione deve essere incisa sul tubo coll'acido; un'incisione

fatta col diamante darebbe luogo alla rottura del tubetto succedendo una variazione di temperatura.

Il termometro a mercurio, nel quale la dilatazione apparente del mercurio indica la temperatura, è desso uno strumento comparabile a sè stesso? Parecchi termometri a mercurio danno tutti le medesime indicazioni, e le indicazioni di una stessa temperatura sono esse modificate col tempo?

Tocca all'esperienza il rispondere.

Sembrava che non solo i termometri costrutti con vetri diversi, ma

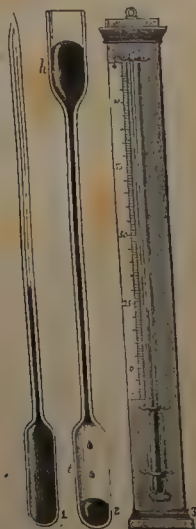



Fig. 165 — Termometro a mercurio.

ancora quelli costruiti col vetro della stessa colata, dessero indicazioni diverse.

E v'ha di più; lo zero, punto fisso della graduazione, si spostava capricciosamente senza che si potesse assegnare *a priori* una legge al suo spostamento.

Se un termometro che marcava zero nel ghiaccio fondentesi veniva scaldato e poi si determinava nuovamente lo zero, si trovava che la colonna nel ghiaccio fondentesi si fermava un po' più in basso che nel primo caso.

Allora si dice che lo zero è *depresso*. Quelle depressioni variavano

col tempo e colla temperatura alla quale era portato lo strumento, di maniera che l'uso del termometro a mercurio come istrumento di precisione sembrava doversi bandire.

Fig. 166. — Determinazione del punto cento di un termometro (vapore d'acqua bollente)

Guillaume fece uno studio accuratissimo sul procedere del termometro a mercurio, e dimostrò che se la lettura è fatta con certe precauzioni, quello strumento è in ogni punto comparabile al termometro a idrogeno.

Si trattava di trovare il valore esatto del grado. A tal fine Guillaume segnava il livello al quale si arrestava la colonna nel vapore di acqua pura bollente sotto la pressione di 76 centimetri di mercurio, poi, immediatamente dopo quella determinazione, tuffava l'istrumento nel ghiaccio fondentesi e quando il livello era divenuto stazionario determinava la *posizione dello zero*. La centesima parte della contrazione della colonna rappresenta il valore esatto del grado.

In altre parole, se in un momento quale che sia, si rifà nella medesima guisa una nuova determinazione dei punti fissi, si trova che i primi punti sono spostati, ma il valore del grado determinato dalla centesima parte della contrazione del mercurio è il medesimo che si ha dalla prima determinazione.

Si può quindi enunciare questa legge.

L'intervallo che sopra un'asta graduata separa, in parti di eguale capacità, i due punti fissi *determinati in un medesimo istante*, comprende un numero *invariabile* di divisioni dell'asta, quand'anche i punti fissi avessero subito uno spostamento sull'asta medesima.

Per valutare esattamente una temperatura in gradi, corrispondendo il grado alla definizione precisa che ne abbiamo dato, farà mestieri leggere il numero della divisione ove si arresta il livello della colonna mercuriale nel recinto di cui si prende la temperatura, poi tuffare immediatamente il termometro nel ghiaccio che si fonde, e leggere la divisione corrispondente allo zero così determinato al momento della esperienza. Il numero delle divisioni indicherà la temperatura in gradi, se si conosce il valore in gradi di una divisione.

Determinate che sieno in questa guisa le temperature, i termometri a mercurio rimangono istrumenti *comparabili tra loro* e *comparabili a sè stessi* e per conseguenza diventano *strumenti di precisione*.

Le variazioni dei punti fissi sono dovute a modificazioni nella struttura del vetro, modificazioni variabili col tempo e colla temperatura.

Studieremo ora rapidamente le principali particolarità della costruzione di un termometro di precisione.

Il costruttore sceglie fra i cannelli di vetro di una stessa cotta quelli il cui canale presenta la sezione più regolare. Per assicurarsene fa correre nell' interno un indice di mercurio che, se il tubo fosse perfettamente cilindrico, conserverebbe esattamente la medesima lunghezza nella sua corsa da una estremità all'altra del tubo. Se la variazione di lunghezza dell' indice non raggiunge $\frac{1}{50}$ del suo valore, la cannetta è buona e la si conserva, altrimenti viene rigettata.

Scelto che si sia il tubo, lo si gradua in parti di eguale lunghezza da una estremità all'altra. Si scrive 0 davanti alla prima divisione dal lato del serbatojo, e si numerano le altre divisioni di dieci in dieci.

Il termometro così costruito presenta una *scala arbitraria*.

Le linette sono incise sul vetro coll'acido fluoridrico, in guisa che le divisioni possono essere vedute, sia guardandole direttamente, sia attraverso allo spessore del tubo.

Le linee devono essere precise, fine e disposte regolarmente.

Si soffia un serbatojo (fig. 165) ad una delle estremità del tubetto, ed all'altra si salda un' ampolla che termina in punta affilata. La ca-

pacità del serbatojo che si soffia è determinata dalla lunghezza che si vuol far occupare al grado sul tubo.

Si scalda alquanto l'ampolla e se ne immerge la punta in un vaso contenente mercurio purissimo. L'aria si contrae pel raffreddamento, ed allora per virtù della pressione atmosferica si introduce nell'ampolla una certa quantità di mercurio.

Ciò fatto si adagia l'apparecchio un po' inclinato sopra una graticola a gas.

Si scalda uniformemente il serbatojo e l'ampolla. Il mercurio si introduce nel serbatojo per effetto del raffreddamento.

Dopo ciò si porta il mercurio del serbatojo all'ebollizione, l'aria viene scacciata dai vapori mercuriali, e per raffreddamento il serbatojo ed il canale si riempiono di mercurio. Si regola la quantità di mercurio a norma della temperatura estrema che dovrà indicare. Si separa poscia l'ampolla dal tubo, che si chiude alla lampada, conservando una traccia d'aria che permette di soffiare nella parte superiore un'ampolla che servirà di camera termometrica, ed impedirà la rottura dello strumento nel caso che lo si assoggettasse ad una temperatura superiore a quella limitata che può indicare.

Il termometro così costrutto vien spedito all'ufficio internazionale di pesi e misure, ove se ne studia l'andamento paragonandolo al termometro normale, e così viene determinata la temperatura corrispondente ad ogni singola divisione del tubo.

Per arrivare a questo risultato si nota prima di tutto la divisione corrispondente a 100°.

A tal uopo il termometro viene collocato in una stufa a vapore (figura 466).

Il vapore acqueo proveniente da una caldaja *c* sale in un cilindro *D* che contiene il termometro *T*, discende nello spazio annulare, si condensa e ricade nella caldaja. Un piccolo manometro ad aria libera *M* indica che la forza elastica del vapore è precisamente quella dell'atmosfera, poichè il livello nei due rami rimane sempre nel medesimo piano orizzontale.

Si introduce il termometro nella stufa in guisa che il livello del mercurio si trovi appena al di fuori di quella. Lo si osserva da lontano con un cannocchiale il cui asse deve essere perpendicolare all'asta del termometro. Per assicurarsi che le cose siono veramente così disposte, si fa girare il termometro sopra sè stesso e si osserva se durante quel movimento si legge realmente sempre la medesima divisione dell'asta. Gli è per questa ragione che le divisioni devono potersi leggere così direttamente come per trasparenza.

In questo modo si segna la divisione corrispondente al punto 100, essendo il termometro immerso nel vapore d'acqua bollente sotto la pressione di 76 centimetri di mercurio. Se l'altezza barometrica differisce da 76, si può agevolmente trovare la temperatura corrispondente al punto ove il mercurio si arresta, sapendo per esperienza, come vedremo più innanzi, che per accrescimento di 2,7 nell'altezza del barometro, la temperatura si eleva di 1° centigrado, sempre per altro per piccole variazioni barometriche.

La stufa può essere abbassata orizzontalmente o mandata ad appoggiarsi sulla forchetta *F* per mezzo della maniglia *P*.

La lettura si fa in quella posizione per eliminare gli effetti della pressione della colonna mercuriale sulle pareti del serbatojo, pressione che si trasmette proporzionalmente alle superficie, e che nel caso di un tubo molto sottile è capace di dilatare il serbatojo e di falsare la lettura di parecchie divisioni, come si può capacitarsene rialzando la stufa.

In tutte le determinazioni precise di temperatura si dovrà sempre

Fig. 467. — Determinazione del punto zero di un termometro (ghiaccio che si fonde).

mettersi al riparo da questo errore, disponendo il termometro in piano orizzontale.

Fatta quella lettura, si tuffa immediatamente il termometro nel ghiaccio che si fonde. In questo caso non si può adagiare orizzontalmente il termometro, attesochè l'assetto da darsi è difficile da tradurre in fatto; del resto l'errore che ne consegue è insignificante, poichè il mercurio si alza ben poco nel tubo.

Per ottenere la temperatura di 0°, si raschiano dei pezzi di ghiaccio puro per mezzo di una pialla speciale.

Il ghiaccio bene sminuzzato viene versato e compresso nel vaso *V*.

Un sostegno munito di livello porta il termometro T (fig. 467) che è tuffato nel ghiaccio.

Appena il livello si è reso stazionario, si solleva alquanto il termometro in guisa che il mercurio esca appena appena fuori del ghiaccio. Si legge la divisione corrispondente da lungi col cannocchiale, e contemporaneamente si verifica se facendo girare il termometro si legge sempre la divisione medesima, cosa che indica essere l'asse del cannocchiale perpendicolare al tubo del termometro.

In questa guisa l'intervallo 0-100 è bene determinato, ed in tali condizioni di misura abbiamo veduto che quell'intervallo è indipendente dalla natura del vetro e dalle modificazioni temporanee.

Una volta che quell'intervallo è determinato, staccando successivamente indici di lunghezze opportune, si perviene a conoscere la capacità di ogni divisione prendendo come unità la centesima parte della capacità compresa nell'intervallo 0-100.

Fig. 468. — Termometro di Rutherford a massima M e minima A.

Si sa allora a quale frazione di grado corrisponde l'intervallo compreso fra due divisioni qualunque consecutive.

Si prepara una tabella dell'istrumento, e l'istrumento stesso indica allora la temperatura normale.

Per determinare una temperatura basta operare come abbiamo detto da principio, avendo cura di disporre il termometro orizzontalmente.

Non tutte le misure han d'uopo di essere fatte colla medesima precisione, ed in tal caso la costruzione del termometro può essere semplificata. Per la scelta del tubo e pel riempimento si opera nella maniera medesima, poi si determinano i punti fissi ed il loro intervallo diviso in 100 parti riesce diviso in gradi.

Per conoscere la temperatura basta quindi leggere il numero delle parti, ma per essere ben certi di non commettere errori, tutte le volte che si dovrà usare l'istrumento, si determinerà lo zero e si alzerà tutta la scala del valore del suo spostamento.

Quando si vogliono apprezzare temperature bassissime, siccome il mercurio si solidifica, gela a 40° sotto lo zero, si è obbligati di rinunziare a questa specie di termometri.

In tal caso si ricorre al termometro ad alcool, poichè l'alcool non si congela nemmeno alle temperature più basse che si possono produrre.

Lo zero del termometro ad alcool si determina nella medesima maniera di quello del termometro a mercurio.

Ma la determinazione del punto 100 non può essere fatta, attesochè lo strumento non può sopportare una temperatura superiore a 80°. Si determinerà in questo caso un altro grado della scala tuffando il termometro in un liquido la cui temperatura sia data da un termometro campione, e si divide l'intervallo in tante divisioni quante sono le unità della temperatura indicata dal termometro a mercurio.

Siccome poi l'alcool non obbedisce alle stesse leggi di dilatazione cui obbedisce il mercurio, le indicazioni del termometro ad alcool non concordano con quelle del termometro a mercurio. D'altra parte il termometro ad alcool presenta irregolarità sue proprie che dipendono dalle differenze che esistono fra gli alcool di diversa provenienza impiegati nella sua costruzione.

Fig. 468. Termometri a massima e minima di Walferdin.

Egli è chiaro che al di sotto di — 40°, temperatura di congelazione del mercurio, le indicazioni del termometro ad alcool hanno un valore loro proprio, indipendente da quello del termometro a mercurio, che al disotto di quella temperatura non funziona più.

Si può surrogare l'alcool col solfuro di carbonio, ma gli istrumenti costruiti con questo corpo non possono servire che per usi grossolani.

Per le osservazioni meteorologiche è di somma importanza possedere un termometro che possa indicare il minimo ed il massimo della temperatura in un dato luogo, entro un lasso di tempo conosciuto, senza che l'osservatore sia obbligato di rimanere vicino all'istrumento per seguirne le indicazioni durante quel tempo.

Rutherford ha indicato un sistema di costruzione per tali strumenti.

Il termometro a massima *M* consta di un termometro a mercurio disposto orizzontalmente (fig. 468) che contiene nel suo tubetto un indice *b* costituito da un piccolo cilindro di ferro. Quando la temperatura si alza, quell'indice viene spinto dal mercurio. Quando quella si abbissa, siccome tra il ferro ed il mercurio non vi è aderenza, la colonna si ritira senza tirarsi dietro l'indice che si ferma sulla divisione ove fu spinto nel momento del massimo.

Il termometro a *minima A* (fig. 468) è un termometro ad alcool disposto come il precedente e munito di un indice di smalto *c*. Elevandosi la temperatura, l'alcool si dilata, sale nel tubo senza spostare l'indice. Se la temperatura si abbassa, non appena l'estremità della colonna raggiunge l'indice, se lo trascina dietro e lo abbandona di rimpetto alla divisione che indica la temperatura *minima*.

Questi diversi istrumenti, per effetto della loro costruzione, non possono essere adoperati nei casi di determinazioni nei quali l'apparecchio è soggetto a ricevere scosse che possono spostare l'indice e rendere i risultati incerti. In questo caso si ricorre ai termometri a versamento di Walferdin.

Il termometro a massima 5 (fig. 469) è un termometro a ribocco. Ha la forma di un termometro comune, salvo che è terminato da un piccolo serbatojo o ventre che contiene una certa quantità di mercurio e nel quale penetra la punta affilata ed aperta del canale interno del

tubo. Il mercurio del ventre è destinato a *caricare* l'istrumento, vale a dire a riempire completamente il tubo, ad ogni osservazione. A tal uopo si scalda il serbatojo inferiore sino a che il mercurio dilatandosi incominci ad uscire per la punta affilata. Capovolgendo allora l'istrumento, il mercurio che è nel ventre discende verso la punta, e questa vi si trova totalmente immersa. Si lascia poi raffreddare il termometro mantenendolo sempre capovolto. Per effetto del raffreddamento il mercurio del serbatojo si contrae, ed una certa quantità di quello contenuto nel ventre passa nel tubo che si trova completamente riempito.

Per usarlo da prima lo si carica ad una temperatura inferiore a quella che si tratta di osservare, poi lo si porta nel luogo del quale si vuol conoscere la temperatura massima. Se il termometro prima si raffredda non c'è alcun inconveniente, poichè non entra nè esce mercurio. Ma se la temperatura si alza, il mercurio si dilata e una parte trabocca nel ventre senza poter più rientrare nel tubo. Per conoscere quale fu la massima temperatura alla quale è giunto il termometro, lo si immerge in un bagno del quale si alza progressivamente la temperatura sino al momento in cui il tubo si riempie completamente di mercurio; la temperatura del bagno in quest' istante è la temperatura massima cercata.

Nel termometro a *minima* 6 (fig. 469), il becco si trova alla congiunzione dell'asta e del serbatojo inferiore.

Il liquido termometrico è l'alcool, ma il fondo del serbatojo è pieno di mercurio. Si capovolge il termometro e lo si porta a una temperatura superiore a quella che si vuole osservare.

Fig. 470. Termometro metallico di Breguet.

Si introduce nel tubo un po' di mercurio che forma una specie di indice. Si rimette l'istrumento nella sua posizione normale e lo si lascia nel recinto del quale si vuole misurare la temperatura *minima*. Questa temperatura essendo inferiore a quella ove si è portato l'istrumento per far salire nel suo tubo un indice di mercurio, cade mercurio dal tubo nell'indice, e l'indice ridotto a minore lunghezza sfiora ancora la punta nel momento della temperatura *minima*; ma se la temperatura si alza, l'indice risale nel tubo. Basta immergere l'apparecchio in un bagno che si raffredda gradatamente, in guisa da ricondurre l'indice ad affiorare la punta colla estremità inferiore. La temperatura del bagno indicata in quel momento da un termometro, dà il valore della temperatura *minima* cercata.

Questi termometri sono in particolar modo destinati alla esplorazione della temperatura degli strati terrestri, del fondo dei laghi, dei mari o dei pozzi, ma in questo caso bisogna chiuderli in un tubo di vetro che si salda alla lampada per sottrarli alla pressione esterna che diminuirebbe il volume del serbatojo.

Talvolta è utile di poter registrare in modo continuo le indicazioni di un termometro, ed in simil caso è vantaggioso il servirsi di termometri metallici.

Il termometro di Abramo Breguet (fig. 470) consta di una lamina piegata a spirale, la cui parte inferiore sostiene una lancetta orizzontale sotto alla quale si trova un quadrante graduato.

La lamina è composta di tre nastri, d'argento, d'oro e di platino. L'argento, più dilatabile, è situato all'interno, il platino all'esterno e

l'oro in mezzo serve di saldatura. Se la temperatura si alza, la spirale si svolge, se la temperatura diminuisce si avvolge. Quei movimenti sono accusati dalla lancetta che si muove sul quadrante in un senso o nell'altro.

Questo apparecchio è sensibile alla più debole variazione di temperatura.

Ma la sensibilità non basta perchè un apparecchio termometrico sia accettabile; fa mestieri anzitutto che, sottomesso alle medesime influenze, riproduca costantemente le medesime indicazioni. Ora l'inconveniente comune a tutti i termometri metallici è la grandissima variabilità nello stato molecolare dei corpi solidi adoperati nella loro costruzione, variabilità che impedisce a quegli strumenti di rimanere comparabili a sè stessi.

Quando si vogliono valutare temperature elevate, per esempio quelle dei forni da porcellana, non è più possibile usare termometri ad alcool od a mercurio; in questo caso si fa uso di *pirometri*.

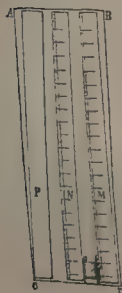



Fig. 471. Pirometro di Wedgwood per la misura delle alte temperature.

Il pirometro, ideato dall'inglese Wedgwood (fig. 471) è fondato sulla contrazione che subisce l'argilla quando la si scalda, contrazione che ha per causa un cambiamento nella natura chimica dei composti che la costituiscono. Due regoli metallici formanti fra loro un piccolo angolo sono assestati sopra una tavoletta metallica. Piccoli cilindri d'argilla possono scorrere tanto più innanzi verso il vertice dell'angolo quanto maggiore fu la loro contrazione, vale a dire quanto più alta fu la temperatura alla quale furono esposti.

I piccoli cilindri d'argilla sono cacciati nel forno, e quando ne hanno preso la temperatura, si lasciano raffreddare, poi si fanno scorrere nelle scanalature esistenti fra i regoli. Il punto ove si arrestano sulla graduazione arbitraria dei regoli permette di riconoscere se nel forno si è raggiunta la temperatura stabilita.

Per evitare l'incomodo di dare all'apparecchio dimensioni troppo grandi, si dispongono due scanalature sulla medesima tavoletta; la seconda scanalatura è una continuazione della prima.

Nelle esperienze di precisione come sostanza pirometrica si impiegano i gas.

Abbiamo veduto che un corpo, sia esso solido, liquido o gasoso, sotto l'azione del calore si dilata.

Testè abbiamo studiato la qualità fondamentale del calore, la temperatura.

Il fenomeno che si è rivelato a noi per il primo è quello della dilatazione. Studiamo dunque, dal punto di vista della temperatura, la dilatazione della materia sotto i suoi tre stati: solido, liquido, gasoso. Con una lunga serie di osservazioni si determinarono certi numeri per mezzo dei quali è possibile apprezzare la *dilatabilità* rispettiva dei corpi.

Codesti numeri vengono chiamati *coefficienti* di dilatazione, e rispondono alla definizione seguente:

Si chiama *coefficiente di dilatazione d'allungamento* di una sbarra

o più semplicemente *coefficiente di dilatazione lineare*, il numero che esprime l'allungamento dell'unità di lunghezza di quel corpo per un inalzamento di temperatura di un grado.

Per esempio, dire che il coefficiente di dilatazione lineare del rame è di 0,00001713, equivale a dire che una sbarra di rame lunga un metro, elevandosi la temperatura di un grado, si dilaterebbe di $0^m,00001713$. È poi generalmente ammesso che per un inalzamento di cinque gradi,

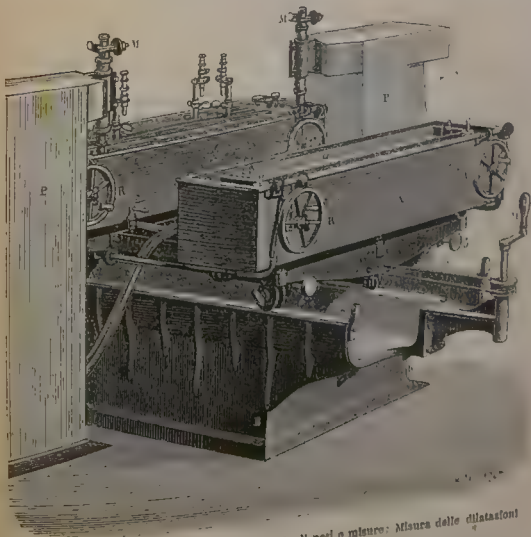



Fig. 472. — Comparatore dell'Ufficio internazionale di pesi e misure: Misura delle dilatazioni

per esempio, essa si dilaterebbe cinque volte di più; per uno di dieci gradi, dieci volte di più, ecc.

Si chiama *coefficiente di dilatazione superficiale* di un corpo il numero che esprime l'aumento dell'unità di superficie per una elevazione di temperatura di un grado.

Si chiama *coefficiente di dilatazione cubica* il numero che esprime l'aumento dell'unità di volume per una elevazione di temperatura di un grado.

Per sciogliere i problemi relativi alla dilatazione dei corpi non è necessario di conoscere tutti e tre quei coefficienti; basta conoscerne uno, giacchè si dimostra che il coefficiente di dilatazione superficiale

è il *doppio* di quello di dilatazione lineare, e che il coefficiente di dilatazione cubica è il *triplo* di quello di dilatazione lineare.

Le misure di lunghezza generalmente si effettuano con regoli metallici, le cui divisioni non rappresentano esattamente l'unità adottata od un sottomultiplo che a 0°. La lettura, che in generale ha luogo ad una temperatura diversa da 0°, richiede, per essere comparata a quella che sarebbe a 0° (temperatura alla quale fu graduato il regolo), la cognizione della dilatazione lineare della sostanza di cui è formato il regolo. Quella grandezza presenta adunque nella sua determinazione una importanza particolare che l' ha indicata alle prime indagini dei fisici.

Le prime misure, assai grossolane, mostravano il fenomeno della dilatazione meglio che non lo misurassero.

Perciò Guyton di Morveau (1) misurava sopra uno spigolo la lunghezza di cui un cono metallico si internava più o meno profondamente, secondo la sua temperatura, in un foro praticato nel mezzo di una piastra rimasta fredda.

Lavoisier e Laplace (2) fecero le prime misure precise.

Verso il 1783, il generale Roy fece costruire dall'ottico inglese Ramsden un apparecchio destinato a determinare la dilatazione dei regoli che dovevano servire a misurare un arco di meridiano.

Noi descriveremo solo il *comparatore*, apparecchio costrutto sul medesimo principio su cui è costrutto il precedente e che permette di comparare la lunghezza di un regolo con quella di un altro preso per campione.

Questo istrumento è impiegato all'Ufficio internazionale di pesi e misure ove si studia la dilatazione dei regoli di platino o di rame che servono come campione di lunghezza.

Il comparatore consta di una vasca A (fig. 472) piena d'acqua mantenuta ad una temperatura costante da una corrente d'acqua fredda o calda, secondo i casi, la quale acqua circola in una seconda vasca a che contiene la prima.

Il regolo da studiarsi viene collocato orizzontalmente nella vasca. Quattro termometri a mercurio, situati lungo il regolo, ne fanno conoscere la temperatura.

Quei termometri sono osservati col sussidio di microscopii che permettono di apprezzare 1/200° di grado.

Il regolo di platino che serve di campione di lunghezza vien disposto parallelamente al primo in una vasca doppia simile A'.

I due regoli portano verso le loro estremità due linee incise finissime.

Nel regolo campione, la distanza fra quelle due linee a 0° è di un metro.

Nel coperchio metallico delle due vasche sono aperte finestrelle munite di vetro che permettono di illuminare e di osservare le linee estreme.

(1) Guyton di Morveau, nato a Digione nel 1737, morto nel 1816.

(2) Pietro Leone Laplace, celebre geometra, nato a Beaumont-en-Auge (Calvados) nel 1749, morto nel 1827. Era figlio di un povero agricoltore. Napoleone I lo fece conte dell'impero e Luigi XVIII pari di Francia.

Il sistema delle vasche è collocato sopra un carretto mobile, su due rotaje r, e vien manovrato per mezzo di una manovella M, e ciò per poter condurre successivamente le linee dei rispettivi regoli sotto i due microscopii verticali MM *fissi*, suggellati contro due massi di pietra PP che riposano su fondazioni di calcestruzzo.

I microscopii portano un micrometro oculare composto di un reticolo formato da due fili paralleli molto vicini, in guisa da poter comprendere fra essi la grossezza delle linee del regolo ingrandita dal microscopio.

Una vite micrometrica, il cui passo è noto in frazioni di millimetro, permette di valutare lo spostamento del reticolo.

I giri e le frazioni di giro si leggono sul tamburo dei microscopii.

Si porta il regolo campione ad una temperatura T sotto i microscopii, e si collimano rispettivamente le due incisioni. Mediante lo spostamento dei carretti si sostituisce al regolo campione quello di cui si studia la dilatazione portata ad una temperatura T. Si collima nuovamente. La lettura fatta sul tamburo dà in millimetri e frazioni di millimetro la differenza della lunghezza dei due regoli.

Si ripetono le medesime misure facendo variare la temperatura T del regolo.

Da quelle misure si arguisce la differenza delle dilatazioni dei due regoli. Siccome la dilatazione del regolo campione è stata fatta in precedenza, la dilatazione del secondo regolo si trova per conseguenza determinata.

I liquidi non avendo per sè stessi una forma determinata, vi era luogo ad occuparsi soltanto della loro dilatazione cubica; ma essendo sempre contenuti in vasi, non si può elevare la loro temperatura senza che il vaso si dilati esso pure nel medesimo tempo, e per conseguenza nasconda, almeno in parte, l'accrescimento di volume del liquido. Da questo complesso di circostanze risulta la necessità di studiare separatamente:

1.° La *dilatazione assoluta* dei liquidi, vale a dire considerata indipendentemente da quella del vaso;

2.° La *dilatazione apparente* dei liquidi nei vasi che li contengono.

Lo studio di quei fenomeni ha dimostrato che la dilatazione dei liquidi era lungi dall'essere regolare come quella dei solidi, e che solo il mercurio si dilata con regolarità.

Dulong e Petit, nel 1817, idearono un metodo che permette di ottenere direttamente la dilatazione assoluta del mercurio, e che ora descriveremo:

Abbiansi due vasi di vetro $a\,a$ (fig. 473) di sezione larga comunicanti fra loro per mezzo di un tubo stretto $t\,t$ e si riempiano di mercurio.

Si raffreddi uno dei tubi con ghiaccio pesto versato in un manicotto che lo circonda, e si tuffi l'altro in un bagno d'olio a temperatura costante.

La piccola sezione del tubo congiungente è un ostacolo permanente alla mescolanza, ma non alla comunicazione dei due liquidi inegualmente caldi. Stando così le cose, le altezze delle due colonne liquide

al disopra della loro superficie comune di separazione tt' saranno in ragione inversa dei loro pesi specifici.

I livelli nei due rami si osservano per mezzo di un cannocchiale che si sposta sopra un regolo graduato che gli è perpendicolare, apparecchio che vien detto *Catetometro*.

Supponiamo i due rami a 0°, i loro livelli saranno nel medesimo piano orizzontale. Se se ne scalda uno, si dilata e la differenza di livello $t'n' - tn$ osservata misurerà la dilatazione della colonna primitiva. Se quella colonna avesse avuto a 0° una lunghezza h, e se la differenza di temperatura dei due rami è $t°$, il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio sarà per definizione la dilatazione per $t°$ di una colonna di mercurio avente per altezza l'unità di lunghezza.

Per avere quel coefficiente di dilatazione assoluta, basterà dividere il numero che esprime la differenza dei livelli nei due rami disugualmente scaldati pel prodotto dei numeri che misurano, l'uno la differenza di temperatura dei due rami, l'altro l'altezza verticale del ramo più freddo. Il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio fu trovato, fra 0° e 100° eguale ad $\frac{1}{5550}$.

Se si vuole ottenere la dilatazione assoluta di un liquido, il metodo più semplice è quello dei *termometri comparati*. Esso fu seguito da Deluc, Gay-Lussac, Biot, ecc., ed usato nel 1844 da Isidoro Pierre con esito felicissimo. Il metodo consiste nel costruire un termometro col liquido sul quale si vuole operare, e nel paragonare le sue indicazioni con quelle di un buon termometro a mercurio messo nelle medesime condizioni.

I termometri sono stazati, vale a dire che la capacità del serbatojo e quella delle divisioni dell'asta son note e misurate ad una data temperatura.

La dilatazione apparente del mercurio è dedotta dal movimento del termometro a mercurio. Il coefficiente di dilatazione apparente del mercurio è di $\frac{1}{6480}$. Ora, il volume del contenente essendo eguale al volume del contenuto, ne consegue che la dilatazione assoluta del mercurio sarà eguale alla sua dilatazione apparente, aumentata della dilatazione dell'involucro.

Siccome, in virtù degli esperimenti di Dulong e Petit, la dilatazione assoluta del mercurio ci è nota, noi possiamo conoscere la dilatazione di un involucro di vetro mediante la semplice osservazione del termometro costituito con quell'involucro.

Se noi supponiamo il termometro a liquido, fatto con un involucro identico a quello del termometro a mercurio, l'osservazione diretta di questo termometro ci fa conoscere la dilatazione apparente di quel liquido. Per avere la dilatazione assoluta del liquido basta aggiungere la dilatazione del suo involucro determinata, come abbiamo spiegato.

Ecco ora i risultati principali che si ebbero da questo studio delle dilatazioni assolute dei liquidi:

Pel mercurio la dilatazione non è esattamente proporzionale alla temperatura: essa cresce più rapidamente.

Regnault, che riprese le esperienze di Dulong e Petit, ha trovato che da 0° a 100° le indicazioni di un termometro a mercurio, astrazion fatta

dall'involucro, poco differiscono da quelle di un termometro ad aria messo nelle medesime condizioni.

Ma a 200° del termometro ad aria l'indicazione del termometro sarebbe 202°,78; a 250°, 255°; a 300°, 308°,34; a 350°, 362°,16.

Per liquidi diversi dal mercurio, la legge della dilatazione si allontana ancora di più dalla proporzionalità semplice.

Se si aggruppano i liquidi in serie comprendenti ciascuna un certo numero di corpi analoghi che si assomigliano per la loro origine e per le loro reazioni, si riconosce che in un dato gruppo la dilatazione dei composti cresce a misura che discende il loro punto di ebollizione.

La dilatabilità dei liquidi, la quale aumenta a misura che cresce la temperatura, segue un accrescimento ancora più spiccato quando si studiano i corpi ad una grande distanza dal loro punto di ebollizione.

Thilorier, che pel primo solidificò una quantità piuttosto notevole di acido carbonico, trovò che la dilatazione di quel corpo allo stato liquido era superiore a quella dei gas e cresceva rapidamente al crescere della temperatura.

Fig. 173. — Principio del metodo di Dulong e Petit: dilatazione assoluta del mercurio.

Da 0° a 10°, il coefficiente medio di dilatazione dell'acido carbonico liquido è 0,006 33; da 10° a 30°, 0,020 67.

Hirn trovò che l'alcool, il quale bolle a 78°,3, possiede a 160° un coefficiente di dilatazione cinque volte superiore a quello dell'aria, e che l'acqua a 180° possiede un coefficiente di dilatazione che è la metà di quello dell'aria. Quei corpi rimanevano liquidi a quelle temperature, sotto una forza elastica costante, equilibrata da una colonna di mercurio di 1 125 centimetri di altezza. Il coefficiente di dilatazione di un liquido aumenta colla temperatura, e partendo dal punto ove la forza elastica del liquido diventa inferiore a quella della atmosfera, quel coefficiente di dilatazione cresce rapidamente e può anche oltrepassare quello dei gas.

La legge di dilatazione dell'acqua non assomiglia per nulla a quella degli altri liquidi. In fatti noi abbiamo già veduto che l'acqua, dopo una certa temperatura, in luogo di contrarsi per effetto del freddo, si dilata.

Despretz, nel 1839, determinò la *legge di quella dilatazione*.

Egli tuffò nel medesimo bagno, la cui temperatura poteva variare da — 9° sino a + 15°, due termometri ad acqua combacianti con due buoni termometri a mercurio.

Egli studiò così la dilatazione assoluta dell'acqua e riconobbe che verso i 4°, il volume di un dato peso d'acqua è il minimo possibile, e per conseguenza che la densità del liquido è la più grande possibile; essa passa per un *massimo*.

Despretz aveva riempiuto i suoi termometri con acqua perfettamente pura e purgata dall'aria coll'ebollizione.

Riconobbe anche che l'acqua privata d'aria poteva sopportare un abbassamento di temperatura di — 20° senza che avvenisse congelazione; l'aumento di volume, che cominciava a 4°, continuava sino al momento della solidificazione.

Nell'acqua che tiene in soluzione una quantità di sale più o meno notevole, il massimo di densità si abbassa nel tempo stesso che si abbassa il punto di congelazione, ma molto più rapidamente di questo, di maniera che per una certa proporzione di materia salina il massimo di densità è al disotto del punto di congelazione, circostanza che rende difficile la verifica di quel fatto, e più ancora il fissare la temperatura che gli corrisponde. L'acqua di mare, come l'acqua dei fiumi, ha anch'essa un massimo di densità, ma prima che abbia raggiunto la temperatura che gli corrisponde si è prodotta la congelazione.

Quel massimo di densità, contrariamente a quello dell'acqua dei fiumi, non sostiene nessun ufficio in natura, la sua esistenza non è legata a verun utile pratico; essa quindi è semplicemente la prova della permanenza della legge fisica, ancorchè svanissero le circostanze che rendono sensibile la sua utilità generale.

Quando le diverse parti di un liquido sono disugualmente calde, si stabilisce tra esse una differenza di densità che produce correnti, le quali hanno per risultato di suddividere uniformemente la temperatura nei diversi punti della massa. Questo fenomeno ha ricevuto il nome di CONVEZIONE.

Noi l'abbiamo messo in evidenza a proposito dell'ebollizione dell'acqua in un vaso, spandendo nel liquido segatura di legno di quercia che disegna una corrente ascendente al centro del vaso ed una discendente lungo le pareti.

Il riscaldamento delle abitazioni per circolazione d'acqua calda è una semplice applicazione di quella esperienza.

La convezione del calore sostiene un ufficio importante nella produzione delle correnti marino la cui formazione è dovuta all'azione dei venti, che a loro volta sono prodotti dalla convezione del calore nell'atmosfera. Il mare è una massa immensa di liquido i cui diversi punti sono a temperature diverse; ne risulta una corrente calda dirigentesi dall'equatore al polo, ed alla quale corrisponde una corrente fredda inversa inferiore che va dai poli all'equatore.

Questo è uno dei caratteri fondamentali della celebre corrente nota sotto il nome di Gulf-Stream.

Vediamo ora come si dilatino i gas quando varia la loro temperatura.

Gay-Lussac per il primo misurò la dilatazione dei gas. Egli paragonava il movimento di un termometro a gas C con quello di un termometro a mercurio E, disposti tutti e due sopra uno stesso piano orizzontale nel medesimo bagno portato a temperature diverse (fig. 474). Riempiva il termometro a gas a 0° col gas essiccato sul quale voleva

operare e chiudeva il termometro stesso con un indice di mercurio il cui spostamento misurava la variazione di volume del gas che aveva per forza elastica quella dell'atmosfera; il tubo era stato campionato in precedenza. Gay-Lussac, compendiando i suoi lavori, enunciò la legge seguente:

Tutti i gas hanno il medesimo coefficiente di dilatazione.

E trovò pel valore di quel coefficiente 0,00375.

In quel mentre Davy effettuò alcune esperienze facendo variare la forza elastica dei gas e non pervenne a risultati sensibilmente diversi.

Gay-Lussac completò allora la sua legge aggiungendo:

Il coefficiente di dilatazione dei gas è indipendente dalla pressione.

Ma la questione, ripresa da Rudberg, Pouillet, Dulong e Petit parve ben presto meno semplice di quanto sembrava sui primordii.

Regnault la chiarì con una serie di esperienze, e mostrò che le leggi di Gay-Lussac non erano che leggi limiti alle quali obbedivano più o meno inesattamente i diversi gas.

Egli separò la questione in due parti. Nell'una studiò la dilatazione dei gas a pressione costante; nell'altra, la dilatazione od il volume erano mantenuti costanti dallo sforzo di una pressione variabile.

Il coefficiente di dilatazione era in questo caso definito, fra due temperature, il quoziente ottenuto dividendo la variazione di forza elastica del gas — allorchè la massa gasosa, mantenuta sotto uno stesso volume mercè l'applicazione di pressioni variabili, passava da una temperatura all'altra — pel prodotto dell'intervallo di temperatura superato dalla forza elastica iniziale. Egli mise in evidenza la disuguaglianza dei coefficienti coll'esperimento seguente di *dilatazione dei gas.*

Due palloni comunicanti con un manometro contenevano un eguale volume, l'uno di ossigeno, l'altro di acido solforoso sotto la pressione atmosferica.

I due palloni, da principio alla stessa temperatura di 0°, erano portati a 100°. I loro volumi a 100° erano ricondotti al volume primitivo a 0° mercè l'applicazione di una opportuna pressione. Ora l'esperimento mostrava che le pressioni esercitate erano diverse. Dunque anche la legge di dilatazione dei due gas era pure diversa.

Dalle esperienze di Regnault risulta che i gas possiedono una dilatazione tanto più grande quanto più sono compressibili, che cresce colla pressione, e perciò si è obbligati a distinguere due coefficienti, l'uno a volume costante, l'altro a pressione costante.

I coefficienti di dilatazione dei diversi gas tanto più si avvicinano all'eguaglianza, quanto più deboli sono le pressioni sotto le quali si studiano quei gas.

La legge di Gay-Lussac sembrerebbe verificarsi nel caso in cui si possedessero le sostanze gasose in uno stato di espansione sufficiente. Un gas in questo stato ideale porta il nome di *gas perfetto.*

L'aria, l'idrogeno, l'ossido di carbonio si accostano allo stato di gas perfetto, ed il loro coefficiente di dilatazione sotto pressione o sotto volume costante ha un valore medio di 0,00366. Per l'idrogeno il coefficiente di dilatazione medio sotto pressione costante fra 0° e 100° non varia che da 0,0036613 a 0,0036616 fra le pressioni di 76 e di 254 centimetri di mercurio.

Per ciò tale costanza del coefficiente di dilatazione dell'idrogeno, che

sembra avvicinarsi allo stato di gas perfetto, fu la cagione per la quale l'idrogeno stesso fu scelto come corpo termometrico nella costruzione del termometro campione.

Abbiamo chiamato *fusione* il cambiamento di un corpo che passa dallo stato solido allo stato liquido e *solidificazione* il fenomeno inverso.

La stabilità dell'indicazione di un termometro tuffato in un corpo in fusione dimostra che il focolare fornisce continuamente calore durante la fusione senza che la temperatura si alzi. Quella quantità di calore produce il lavoro molecolare che costituisce il cambiamento di stato.

Codesto calore, detto *calore di fusione*, rimane invariabile per uno stesso corpo, ma varia da un corpo all'altro.

Tra le fusibilità dei corpi esistono differenze grandissime, ed ogni sostanza ha la sua temperatura di fusione, o *punto di fusione*, che costituisce una proprietà caratteristica, specifica.

La fusione di un corpo obbedisce alle due leggi seguenti:

1.° *La fusione di un corpo ha sempre luogo alla medesima temperatura:*

2.° *La temperatura rimane costante per tutta la durata della fusione.*

La prima legge della fusione soffre eccezione in taluni casi particolari.

Un corpo liquefacendosi generalmente prova una repentina variazione di volume. Nella maggioranza dei casi, il liquido, a parità di temperatura, ha un volume maggiore del solido dal quale proviene, e per conseguenza i frammenti del corpo solido rimangono al fondo del liquido proveniente dalla fusione, come la paraffina.

Alcuni corpi, come sarebbe l'acqua, l'argento, il bismuto, l'antimonio e la ghisa si comportano diversamente e, solidi, galleggiano sul liquido derivato dalla fusione.

Un aumento di pressione turba l'aumento di volume e favorisce per converso la diminuzione di volume di un corpo. Un aumento di pressione favorirà adunque la fusione del ghiaccio e si opporrà per lo contrario alla fusione della paraffina.

Questo fatto, dimostrato nel 1850 da J. Thomson per mezzo di un ragionamento teorico, fu pienamente confermato dall'esperienza.

Bunsen eseguì da questo punto di vista esperimenti replicati sulla paraffina e sul bianco di balena, sostanze che aumentano di volume fondendosi, e trovò che l'aumento di pressione faceva elevare la temperatura del punto di fusione di quelle sostanze.

L'apparecchio di Bunsen è un tubo a due rami d'ineguale lunghezza. La parte inferiore contiene mercurio; al disopra del mercurio e nel ramo più corto si introduce la paraffina; il ramo più corto serve di manometro ad aria compressa. L'apparecchio è tuffato in un bagno del quale si può elevare la temperatura; la pressione sotto la quale avviene la fusione è misurata dal manometro ad aria compressa; un termometro dà la temperatura corrispondente al bagno.

Bunsen operava sul bianco di balena e sulla paraffina.

Il bianco di balena, sotto la pressione atmosferica, si liquefa a 47°,7; sotto la pressione di 266 atmosfere non si fondeva più che a 50°,9.

La paraffina che si fonde a 46°,3 alla pressione atmosferica, sotto la pressione di 100 atmosfere richiede per fondersi 49°,9.

Hopkins riprese questo studio con un metodo analogo a quello di Mousson ed operò sul bianco di balena, sulla cera, sulla stearina e sul solfo.

Il bianco di balena, assoggettato alla pressione di 519 e di 792 atmosfere non si fondeva che a 60° e a 80°.

Per le stesse pressioni di 519 e di 792 atmosfere, la cera, la stearina ed il solfo, che sotto la pressione atmosferica fondono alle temperature rispettive di 64°, 72°, 107°, non si fondono più che a 74°,6 ed 80° la prima, a 73°,6 e 79° la seconda, e l'ultimo a 135° e 140°,6.

Queste considerazioni hanno grandissima importanza in geologia. L'esperienza dimostra che a misura che si va sprofondandosi nello spessore della crosta terrestre la pressione aumenta di 3 atmosfere per ogni 10 metri di profondità.

Per una profondità di 1 chilometro, la pressione sarebbe di 300 atmosfere, e ammettendo la proporzionalità di pressione e di profondità, risulterebbe che la cera a 100 chilometri nell'interno della terra non si fonderebbe che a 600°, vale a dire alla temperatura del calore rosso.

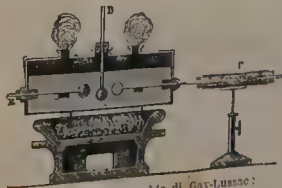



Fig. 474. — Apparecchio di Gay-Lussac: misura della dilatazione del gas.

Se l'interno del globo, la cui massa deve essere considerata come portata ad una temperatura altissima, fosse liquida, le attrazioni esercitate su quel nucleo liquido delle masse del sole e della luna, per un fenomeno analogo a quello delle maree, produrrebbero maree interne che solleverebbero la corteccia terrestre.

Silvano Thomson ha calcolato che per resistere a sì enorme pressione la rigidezza del nucleo esterno del globo doveva essere superiore a quella dell'acciajo.

Un tal fatto nulla ha di inverisimile dopo le esperienze che abbiamo descritto.

Quelle esperienze permettono di spiegare certe particolarità del ghiaccio.

Il ghiaccio è un corpo lubrico sul quale l'attrito è molto debole, e ciò qualunque sia lo stato della sua superficie. Lo si spiega ammettendo che un corpo posto sul ghiaccio determini colla sua pressione la formazione di una pellicola d'acqua che agisce come corpo lubrificante.

La potenza dell'acqua per diminuire l'attrito è conosciuta da molto tempo. Perciò in una strada ferrata di prova, costrutta da Girard, alla Jonchère, il girare delle ruote era surrogato dallo scivolare di pattini sopra rotaje piatte, ma coll' interposizione di una lamina d'acqua (1).

Si provò a introdurre forzatamente l'acqua fra gli organi sfreganti di una macchina, e da quelle prove risultò dimostrato che il potere lubrificante dell'acqua è quasi cento volte maggiore di quello delle materie lubrificanti più vantaggiose.

Quando si premono l'uno contro l'altro due pezzi di ghiaccio, essi si saldano e provocano così il fenomeno conosciuto sotto il nome di *rigelo*. Gli è in questo modo che i fanciulli impastando colle mani una massa di neve finiscono per farne una massa compatta e dura, trasparente, che ha tutto l'aspetto di una palla di ghiaccio.

Nello stesso modo la neve che cade sulla vetta delle alte montagne si preme per l'accumulazione e dà origine ad un *ghiacciajo*, formato di ghiaccio di trasparenza ed omogeneità perfette.

Tyndall riuscì a coniare medaglie trasparenti schiacciando il ghiaccio con un colpo di bilanciere. Tutti quei fenomeni si spiegano nella stessa maniera. Sotto l'influenza della pressione che avvicina i frammenti di ghiaccio si forma una pellicola liquida che si frappone ai frammenti. Quella pellicola, liberata che sia dalla pressione, rigela ed il masso di ghiaccio è costituito.

L'esperienza del rigelo si può fare agevolmente.

Sopra un masso di ghiaccio si pone un filo di ferro teso da due pesi attaccati alle sue estremità. Il filo penetra lentamente nel masso e lo taglia, e il taglio si effettua sotto la pressione del filo per effetto della liquefazione del ghiaccio nei punti premuti. Ma appena passato il filo, e cessata per conseguenza la pressione, quell'acqua rigela ed ogni traccia del taglio scompare.

Il filo attraversa totalmente il pezzo di ghiaccio, le cui due porzioni rimangono tra loro saldate.

Tyndall fa uso di stampi di legno di bosso che riempie di piccoli frammenti di ghiaccio. Da quegli stampi, assoggettati ad una forte pressione, estrae una massa continua trasparente che ha la forma dello stampo. Così si possono ottenere sfere, lenti di ghiaccio.

Il rigelo è una proprietà particolare del ghiaccio; il bismuto, la ghisa che si dilatano solidificandosi non presentano quel carattere. Questa proprietà imparte al ghiaccio la fisionomia di una materia plastica.

Gli è in ragione di codesta plasticità apparente che si effettua lo scolo lento dei ghiacciai che assumono la forma degli accidenti del terreno, sul fondo della valle che serve di letto al ghiacciajo.

Codesta plasticità non è reale; il ghiaccio è un corpo duro ed elastico del quale non si saprebbe cambiare la forma che spezzandolo o fondendolo. È il solo rigelo la cagione che produce tutti gli effetti che risulterebbero da una vera plasticità. Nella discesa del ghiacciajo, il masso di ghiaccio si divide sotto l'azione degli ostacoli, ma i suoi frammenti si saldano per effetto del rigelo, la cui forza compensa la fragilità del ghiaccio.

(1) Una strada ferrata del medesimo genere era impiantata sulla spianata degli Invalidi a Parigi durante l'Esposizione del 1889.

Se i solidi si fondono quando vengono scaldati, necessariamente i liquidi si solidificano quando vengono raffreddati. Questa solidificazione ha luogo a temperature diverse pei diversi corpi.

La solidificazione è soggetta a tre leggi:

1.° Il punto di solidificazione di una sostanza è fisso, ed è il medesimo che il punto di fusione;

2.° La temperatura rimane la medesima per tutto il tempo che dura la solidificazione;

3.° La solidificazione è accompagnata dallo svolgimento di tutto il calore assorbito durante la fusione.

Può succedere che in certe circostanze il punto di solidificazione di un corpo sia abbassato. Questo fenomeno, che ha ricevuto il nome di *soprafusione*, fu scoperto da Faraday, che riuscì a mantenere liquida l'acqua in un tubo sino a 20° sotto zero. Una rapida agitazione basta per produrre la congelazione, che si effettua allora con sprigionamento di calore provocato dal cambiamento di stato.

Gernez fece fondere del fosforo in un tubo di vetro tuffato in un pallone pieno d'acqua ad una temperatura di poco superiore a 44°,2 punto di fusione del fosforo.

L'acqua si raffredda lentamente ed il fosforo non si solidifica punto. Una scossa basta a far sì che la massa si rappigli.

Si può arrivare al medesimo risultato anche mettendo a contatto un cristallo di fosforo bianco identico a quello che può prodursi per solidificazione.

Il fosforo rosso, che dal punto di vista fisico differisce completamente dal fosforo bianco, è incapace di far cessare col suo contatto lo stato di soprafusione del fosforo bianco.

Abbiamo veduto che i liquidi evaporano, secondo la medesima legge, nell'aria o nel vuoto, e che la loro forza elastica dipende dalla temperatura.

L'atmosfera contiene sempre vapore acqueo. Per convincersene basta abbandonare all'aria, in un vaso scoperto, acido solforico o qualsiasi altra sostanza avida d'acqua; in capo a poco tempo l'aumento di peso subito da quei corpi prova che essi ne hanno assorbito una certa quantità. È noto che un vaso pieno di ghiaccio, esposto all'aria, si copre in breve con uno strato di rugiada, la quale altro non è che vapore acqueo condensato. Codesta condensazione avviene perchè gli strati di aria che avvolgono il vaso si raffreddano, e giungono ben presto ad una temperatura per la quale sono saturi di vapore. Partendo da quel limite, e continuando il raffreddamento, il vapore si condensa.

Il vapore d'acqua che esiste nell'aria ha per sorgente principale la evaporazione spontanea delle masse d'acqua che si trovano alla superficie della terra. Uno specchio d'acqua, nelle condizioni ordinarie di temperatura, lascia evaporare in ventiquattro ore circa un litro d'acqua per metro quadrato di superficie; ogni chilometro quadrato del mare fornisce quindi in ventiquattro ore 1 000 000 di litri d'acqua, il che per tutta la superficie dei mari corrisponde presso a poco a 400 000 000 di volte 1 000 000 di litri d'acqua. Se a ciò si aggiunge il vapore fornito dagli specchi d'acqua dolce, si comprenderà subito quanto enorme sia la quantità di vapore acqueo che l'atmosfera costantemente riceve, e si osserverà che l'equilibrio non può sussistere se non a condizione che

l'atmosfera restituisca alla terra l'acqua che essa riceve; ed è ciò che essa fa colla pioggia, colla neve, colla rugiada.

La quantità di vapore acqueo che si trova nell'atmosfera è variabilissima; e siccome ha un' influenza notevole su buon numero di fenomeni, interessa rintracciare i mezzi proposti per determinarla. Agli apparecchi che permettono di effettuare quella determinazione fu dato il nome di *igrometri*.

I fenomeni che sono legati allo stato di umidità dell' aria dipendono non già dalla quantità assoluta di vapore che l'aria contiene, ma dal rapporto che esiste fra quella quantità e quella che vi si troverebbe se l'aria fosse satura. Si chiama *stato igrometrico* il rapporto che esiste fra la quantità di vapore sparso nell'aria e quella che vi si troverebbe se l'aria fosse satura, o, ciò che torna lo stesso, il rapporto tra la forza elastica del vapore d'acqua atmosferico e la forza elastica *massima* corrispondente alla temperatura ambiente. Questo rapporto è quello che definisce lo stato d'umidità dell'aria, ed è appunto ciò che si vuole determinare cogli igrometri.

Fig. 475. Igrometro a capello di Saussure.

Buon numero di sostanze organiche soffrono variazioni nel loro volume secondo il grado di umidità dell'aria; assorbono il vapore nei tempi umidi, ne emettono quando il tempo è secco.

Le pelli dei tamburi si distendono per l'umidità e ne risulta un suono più grave. I corpi a fibre attorcigliate, come sono le funi, si accorciano e si attorcigliano ancor più sotto l'azione dell'umidità.

Un fenomeno del medesimo genere, ma opposto, ha luogo per le corde di minugia che si usano molto di frequente per fare certe specie di igroscopii, istrumenti che d'altra parte mancano di qualsiasi precisione. Un pezzetto di corda da violino viene infisso invariabilmente per una estremità, mentre l'altra, rimasta libera, vien raccomandata ad un oggetto mobile, le cui posizioni variano secondo il grado d'umidità.

In certi modelli, l'estremità della corda porta un cappuccio che nell'aria secca è abbassato. Se l'umidità aumenta, la corda si distende e riconduce il cappuccio sulla testa del personaggio.

Il capello, che in particolare è poco sensibile ai cambiamenti di temperatura, soffre variazioni notevoli nella sua lunghezza quando lo stato igrometrico dell'aria ambiente si cambia. Tale è il principio usufruito da Saussure nella costruzione dell' igrometro che porta il suo nome. Quest' istrumento consta di un capello debitamente sgrassato, attaccato per una estremità (fig. 475) ed avvolto dall'altra nella gola di una puleggia.

Un filo di seta, avvolto in senso contrario e fissato ad una seconda gola della puleggia, sostiene alla sua estremità un piccolo peso di circa due decigrammi, che mantiene il capello costantemente teso. La puleggia porta un ago, la cui punta si muove sopra un quadrante. Quando l'aria è umida, il capello si allunga e la punta dell'ago si alza; quando l'aria è secca, il capello si accorcia e l'ago si abbassa.

Saussure graduava il suo istrumento come un termometro, colla scelta di due punti fissi: quello d'umidità massima o di saturazione dell'aria,

e quello di siccità assoluta. Egli metteva il suo istrumento sotto una campana nella quale si era essiccata l'aria introducendo carbonato di potassa fuso, e segnava 0 nel punto ove l'ago si fermava. Poi toglieva il carbonato e vi sostituiva un piatto pieno d'acqua che saturava l'aria di vapore. L'ago retrocedeva ed egli segnava 100 nel punto ove si arrestava. Divideva poscia l'intervallo fra i punti 0 e 100 in cento parti eguali che costituivano i gradi dell'igrometro.

Saussure prendeva come misura dell'umidità dell'aria il grado ove si arrestava l'indice dell'igrometro.

Ma le indicazioni dell'igrometro graduato in questo modo non sono

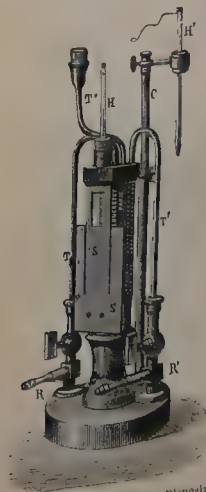



Fig. 476. — Igrometro a condensazione. Disposizione Alluard

proporzionali alla quantità di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera; per servirsene fa mestieri costruire tavole che permettano di dedurre dall'indicazione dell'igrometro lo stato igrometrico corrispondente.

Di più, i diversi igrometri a capello non sono comparabili fra di loro e sarebbe necessario di costruire una tavola speciale per ogni singolo istrumento.

Malauguratamente un igrometro a capello non rimane nemmeno comparabile a sè stesso, e le sue indicazioni cambiano coll'andar del tempo, di maniera che quando si tratta di indagini precise, l'uso di quell'istrumento non è più ammissibile.

Brunner, professore di chimica a Berna, ideò nel 1841 un metodo

diverso. Egli essiccava un noto volume di aria umida facendolo passare sopra sostanze essiccanti il cui aumento di peso dava la massa di vapore acqueo contenuto nell'aria che aveva attraversato l'apparecchio essiccante.

La lunga durata dell'esperienza permette che lo stato igrometrico varii, quindi non si ottiene che uno stato igrometrico medio.

Gli *igrometri a condensazione* sono istrumenti nei quali si conduce il vapore d'acqua dell'atmosfera a condensarsi sopra un corpo raffreddato artificialmente. Le Roy, medico di Montpellier, ideò nel 1751 il primo igrometro a condensazione.

Egli impiegava un vaso di stagno contenente acqua ed un termometro.

Raffreddava l'acqua introducendovi successivamente pezzetti di ghiaccio, e per conseguenza abbassava la temperatura del vaso e dello strato d'aria che lo circondava.

La quantità di vapore che satura uno spazio decresce colla temperatura: arrivava dunque un istante nel quale, per effetto del raffreddamento del vaso, l'aria che lo toccava era satura.

In quell'istante, continuando il raffreddamento, una porzione del vapore si condensava sul vaso, e tale fenomeno era reso sensibile dall'apparenza appannata del vaso che in quell'istante succedeva allo splendore della sua superficie.

La forza elastica del vapore acqueo che si trova nello strato d'aria vicino al vaso è la forza elastica massima corrispondente alla temperatura indicata dal termometro.

Essa è quella stessa che possiede il vapore sparso nell'aria ambiente. Per conoscerla basta consultare le tavole della forza elastica, tavole che fra breve apprenderemo a costruire.

Facendo il quoziente di quella forza elastica per la forza elastica massima alla temperatura dell'aria ambiente, si avrà lo stato igrometrico.

Questo istrumento ha il difetto di mettere l'acqua in mezzo alla massa d'aria studiata, e di elevare per ciò di qualche cosa il suo stato igrometrico; questo viene pure modificato dalla presenza dell'operatore che sta presso il vaso.

Oltre a ciò tale apparecchio non può dare buoni risultati quando è esposto al vento, perchè in tal caso gli strati d'aria si spostano troppo presto e non possono assumere la temperatura della superficie metallica raffreddata sulla quale scivolano.

Crova modificò l'igrometro a condensazione nel modo seguente per sottrarlo a tutte le cause d'errore.

L'istrumento consta di un tubo di ottone sottile nichelato e ben levigato internamente.

Quel tubo è chiuso davanti da un vetro appannato e di dietro da una lente a lungo foco che permette di vedere chiaramente per riflessione sulle pareti del tubo l'imagine anulare del vetro appannato.

L'aria atmosferica viene aspirata lentamente da una pera di cautciù e circola nell'interno del tubo, il quale poi è incastonato in una scatola di ottone contenente solfuro di carbonio che si fa raffreddare determinando un'evaporazione per mezzo di una corrente d'aria insufflata.

Raffreddato che sia il tubo, appajono sulla sua parete alcune macchie oscure che rivelano il deposito di rugiada. Arrestata l'insufflazione, il deposito scompare.

Un termometro tuffato nel solfuro di carbonio dà la temperatura nel momento della formazione e della scomparsa del deposito.

La media di quelle due letture dà la temperatura esatta del solfuro al momento della formazione del deposito. La figura 476 mostra l'assetto dato all'igrometro dal suo inventore Alluard.

I meteorologisti preferiscono agli igrometri i *psicrometri*, i quali, mediante semplici letture, fanno conoscere il grado dell'umidità dell'aria.

Il psicrometro (ψυχρος, *psicos*, freddo, μέτρον, *metron*, misura) (fig. 477) consta di due termometri identici più che sia possibile, situati l'uno presso l'altro.

Il serbatojo dell'uno è circondato da un panno mantenuto costantemente umido, dal che risulta evaporazione e per conseguenza abbassamento di temperatura.

Quell'abbassamento dipende dalla rapidità della evaporazione e, per conseguenza, dallo stato igrometrico dell'aria.

Fig. 477. — Psicrometro.

Se, come lo hanno indicato i lavori di Doyère (1855) e quelli di Macé di Lépinay (1881) si ha cura di *frombolare* l'apparecchio, vale a dire di far girare rapidamente ogni singolo termometro per mezzo di una funicella prima di leggere le rispettive indicazioni, la differenza fra la forza elastica massima del vapore acqueo alla temperatura del termometro bagnato, e la forza elastica propria del vapore acqueo nell'aria, è proporzionale al prodotto della forza elastica atmosferica per la differenza delle due temperature lette sui termometri.

La costante di proporzionalità è invariabile col tempo e si determina una volta per sempre.

Se si scalda un liquido, quando la forza elastica del suo vapore è eguale a quella dell'atmosfera che pesa sul liquido, si produce il fenomeno della ebollizione.

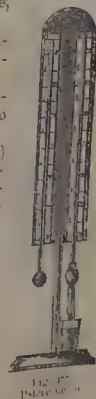
L'esperienza dimostra, come fu già avvertito, che per tutta la durata della ebollizione la temperatura rimane costante se la pressione rimane essa pure costante.

Questa legge è analoga a quella della fusione, e nella maniera stessa che, come sappiamo, la pressione modifica la temperatura del punto di fusione, la pressione modifica anche la temperatura del punto di ebollizione.

L'acqua, per esempio, bolle a 100° sotto la pressione esterna di 760 millimetri; ma se la pressione diventa più debole, l'ebollizione potrà prodursi a temperatura più bassa.

Sotto il recipiente della macchina pneumatica si può far bollire l'acqua ad una temperatura qualunque.

Nell'apparecchio Carré, di cui tenemmo parola, si vede l'acqua della caraffa entrare in ebollizione alcuni istanti prima dell'apparizione del ghiaccio.

La parola *acqua bollente* corrisponde nella nostra mente ad una

sensazione determinata di calore, pel solo fatto che abbiamo occasione di osservare quel fenomeno soltanto sotto pressioni che differiscono sempre pochissimo dalla pressione di 760 millimetri.

Franklin rendeva evidente l'ebollizione dell'acqua ad una temperatura inferiore a 100° coll'esperienza seguente (fig. 478):

In un pallone a lungo collo si fa bollire dell'acqua per circa dieci minuti; quando, per effetto di quella ebollizione, il vapore acqueo elevandosi ha scacciata l'aria del recipiente, si tura il vaso e lo si capovolge immergendo l'estremità del collo in un vaso pieno d'acqua per evitare che l'aria vi rientri.

Fig. 478. — Esperimento di Franklin. Ebollizione provocata col raffreddamento.

Appena il liquido vien sottratto all'azione del calore, l'ebollizione si arresta; ma se sul pallone si versa acqua fredda, l'ebollizione ricomincia e può prolungarsi per un tempo bastantemente lungo. Ciò avviene perchè il contatto dell'acqua fredda ha abbassato la temperatura del vapore che preme sul liquido; per conseguenza la sua forza elastica è scemata, e la pressione essendosi perciò diminuita ha luogo l'ebollizione.

In capo ad un'ora si può ancora far bollire il liquido con nuove aspersioni di acqua fredda.

Il principio su cui si basa questa esperienza viene usufruito nelle raffinerie di zucchero per evaporare i siroppi a bassa temperatura. Così si fa economia di combustibile e sopratutto si diminuisce la trasformazione dello zucchero cristallizzabile in zucchero incristallizzabile, trasformazione che è tanto più notevole quanto più la temperatura è elevata. Si diminuiscono altresì i residui dell'operazione, e per conseguenza le proporzioni di *melassa*.

L'apparecchio impiegato è dovuto a Derosne e Cail. Consta di una caldaja che contiene il siroppo da evaporarsi.

Il vapore prodotto è condotto da un tubo in un grandissimo serpentino di rame nel quale cola siroppo freddo che proviene da un serbatojo superiore. Quel siroppo abbassa la temperatura del serpentino, e per conseguenza quella del vapore, il che agevola l'ebollizione; inoltre, esso stesso si scalda e così arriva parzialmente concentrato in un serbatojo dal quale viene ulteriormente riversato nella caldaja.

L'estremità del serpentino può essere messa in comunicazione con una macchina pneumatica la quale, togliendo di mezzo l'aria ed il vapore, mantiene bassa quanto è possibile la temperatura di ebollizione.

La nozione della forza elastica dell'atmosfera data dal barometro permette di fissare la temperatura della ebollizione dell'acqua. Reciprocamente, un termometro ci darà la temperatura dell'acqua e ci permetterà di dedurne la pressione esterna, la quale non è altro che la forza elastica massima del vapore d'acqua corrispondente a quella temperatura. Regnault costruì l'*ipsometro* basandosi su questo principio.

Questo istrumento consta di una piccola caldaja contenente acqua

scaldata da una lampada e sormontata da un tubo da tiraggio che permette al vapore di sfuggire.

Un termometro tuffato nel vapore dà la temperatura di questo nel momento dell'ebollizione. Da quella temperatura si arguisce la pressione esterna, e per conseguenza l'altitudine del luogo ove si sta, il cui valore è proporzionale all'eccesso di 100 sulla temperatura di ebollizione dell'acqua nel punto considerato.

A Quito, la cui altitudine è di 2908 metri, l'acqua bolle a 90°,1, mentre a Madrid, alto solo 610 sul livello del mare, l'acqua bolle a 97°,8.

Quando un liquido tiene disciolte sostanze eterogenee, il suo punto di ebollizione cambia. L'acqua satura di sale marino non bolle che a 108°,5. Ma, cosa che importa molto a notare, qualunque sia la temperatura della soluzione, quella del vapore dipende unicamente dalla pressione esterna e rimane la medesima che raggiunge nel caso dell'acqua pura.

Fig. 479. — Pentola di Papin.

Quando lo strato liquido che si fa bollire è molto profondo, la temperatura che regna sul fondo del vaso è superiore a 100°; poichè le bolle di vapore che si formano devono trionfare non solo della pressione che si esercita sulla superficie libera, ma anche di quella esercitata sullo strato dal peso del liquido che gli sovrasta.

Elevandosi la pressione, anche la temperatura di ebollizione si alza.

Facendo comunicare una caldaja con un serbatojo d'aria compressa si può elevare la temperatura dell'ebollizione sino a 120°. Ma perchè l'ebollizione possa prodursi, fa mestieri che lo spazio che esiste sopra il liquido sia molto grande e sottratto all'azione del focolare; altrimenti l'ebollizione non si produrrebbe, come lo mostra la pentola di Papin (1) (fig. 479).

La pentola papiniana è un vaso di bronzo *A* a pareti molto resistenti, chiuso da un coperchio *B* assicurato dalla vite *C* sulla bocca della pentola. Una valvola di sicurezza *o* è chiusa da un'asta alla quale si trova applicato un peso *P*. Quel peso poi è regolato in guisa che la leva si

(1) Papin, celebre fisico, nato a Blois nel 1647, morto nel 1714.

alzi, e quindi si apra la valvola, per lasciar sfuggire il vapore quando questo ha raggiunto una pressione troppo alta.

Se si scalda quell'apparecchio, il vapore che si produce esercita la sua pressione sul liquido ed impedisce che si producano le bolle. La temperatura si alza progressivamente, ed in pari tempo cresce rapidamente la forza elastica. Perciò a 200° la pressione è di 16 atmosfere.

Sotto l'azione di tali forze, i vasi più resistenti possono volare in ischeggie e cagionare varie disgrazie.

Mercè la temperatura elevata che l'acqua raggiunge in quell'apparecchio, si possono sciogliere sostanze insolubili nell'acqua a 100°.

In quella pentola, la gelatina delle ossa si scioglie con somma facilità.

Papin aveva costrutto il suo apparecchio, cui dava il nome di *digestore*, precisamente per applicazioni di questo genere.

Se si leva il peso P, la valvola viene sollevata, ed il vapore compresso sfugge con violenza dall'angusta apertura che la valvola chiudeva; condensandosi parzialmente esso forma una colonna di fumo alta parecchi metri e, per effetto della sua espansione nell'atmosfera, subisce tale raffreddamento che si può impunemente cacciare la mano nel getto del vapore in vicinanza all'orifizio.

Se si volesse fare la medesima esperienza col vapore uscente da un vaso contenente acqua in ebollizione alla pressione ordinaria, si riporterebbe un' orribile scottatura.

Gli è in base ad un fenomeno del medesimo genere che si può, soffiando sulla mano, produrre a piacimento una sensazione di calore o di freddo.

Se la bocca è molto aperta, l'aria mescolata a vapore che ne esce possiede la temperatura del polmone che è di circa 37°; ma se si tien stretta la bocca e si comprime la massa gasosa, questa nell'uscire si dilata, la sua temperatura si abbassa e produce una sensazione di freddo.

Nella pentola di Papin, il vapore si accumula sopra l'acqua di mano in mano che cresce la temperatura; ora si domanda che cosa succederebbe se si continuasse lo scaldamento dopo essersi ben premuniti contro la rottura del vaso.

Cagniard-Latour, nel 1822, scaldò fortemente diversi liquidi in tubi di vetro chiusi ed a pareti robustissime. Egli chiudeva il liquido studiato ben purgato d'aria in uno dei rami.

Il tubo curvo, la cui parte inferiore conteneva mercurio, funzionava come manometro ad aria compressa. Portando il ramo contenente il liquido a temperature sempre crescenti, arrivava un istante nel quale la separazione della superficie del liquido e del vapore scompariva completamente. Leggiere variazioni di temperatura in vicinanza al punto di vaporizzazione totale, facevano apparire o scomparire la superficie di separazione.

Per l'etere, Cagniard-Latour dice che, verso 150°, il tubo non conteneva più che un liquido aeriforme il quale occupava un volume appena triplo di quello del liquido primitivo. La forza elastica era allora di 37 atmosfere.

Pel solfuro di carbonio, la scomparsa del liquido avveniva a 220° sotto la pressione di 78 atmosfere.

Rispetto all'acqua, l'esperienza fu assai difficile da eseguire, perchè l'apparecchio andò in frantumi più volte. Tuttavia riuscì a ridurla totalmente in vapore in uno spazio quadruplo del volume primitivo, alla temperatura di fusione dello zinco.

Quelle esperienze dimostrano che al di là di una certa temperatura, distinta col nome di *punto critico*, un corpo non può presentare che lo stato gasoso e non può essere liquefatto, per grande che sia la pressione che sopporta.

Drion ripetè le esperienze di Cagniard-Latour con un apparecchio analogo.

Wolf lo modificò. Egli prese tubi di vetro resistente, per metà pieni del liquido da studiare; un tubo capillare pesca nel centro del liquido. Il tubo esterno è chiuso durante l'ebollizione del liquido, quando il vapore ha scacciato completamente l'aria.

Se si eleva progressivamente la temperatura del tubo, l'ascensione capillare diminuisce a poco a poco nel tempo stesso che diminuisce la convessità del menisco; alla temperatura del punto critico il liquido si trova sul medesimo piano nell' interno e al di fuori del tubo capillare.

Il metodo di Wolf permette di determinare con grande esattezza i punti critici dei vapori che si ponno osservare nei tubi di vetro.

Allorchè in questa determinazione la forza elastica massima del vapore oltrepassa il limite di resistenza del vetro, si ricorre ad un artificio. Si prende un tubo di metallo che, grazie ad un cultro, si dispone come il giogo di una bilancia, in guisa che si mantenga orizzontale quando è ripieno del medesimo fluido omogeneo.

Sinchè nel tubo esiste una mescolanza di liquido e di vapore, il giogo è inclinato; appena raggiunto il punto critico, il giogo si dispone orizzontalmente.

Andrews, nel 1869, si occupò in particolar modo dell'acido carbonico e trovò per punto critico di quella sostanza liquida la temperatura di 31°.

Il suo apparecchio era una specie di piezometro nel quale la pressione si esercitava mediante una vite d'acciajo comprimente l'acqua del vaso ove era collocato il tubo contenente l'acido carbonico puro, chiuso all'estremità superiore e turato all'altra estremità da un indice di mercurio che permetteva alla pressione del liquido di esercitarsi sul gas.

Un piezometro affatto simile, ma contenente aria, chiuso in un tubo pieno d'acqua, comunicava col primo e serviva da manometro.

L'apparecchio era immerso in un bagno del quale si faceva variare la temperatura.

Le esperienze vennero fatte a temperature varianti fra i limiti da 10° a 50°. I risultati di quelle esperienze furono rappresentati con linee ottenute portando rispettivamente su due rette ortogonali e partendo dal loro punto di intersezione, lunghezze proporzionali alle pressioni ed ai volumi corrispondenti. Ogni linea corrisponde alla temperatura che le sta scritta di fianco.

A 13°,1, aumentando la pressione, il volume del gas diminuisce di conformità alla legge di Mariotte; ma allorchè la forza elastica arriva a 49 atmosfere incomincia la liquefazione, il volume del gas diminuisce repentinamente, rimanendo stazionaria la pressione, poi dopo che si è trasformato in liquido il suo volume non varia più sensibilmente, qualunque sia la pressione che pesi su di esso.

A 31°,1 la liquefazione non incomincia più repentinamente.

Nel tubo non si verifica più, come per le temperature inferiori, mescolanza dei due stati. Per una pressione inferiore a 75 atmosfere il tubo è pieno di gas carbonico. Per una pressione superiore esso è pieno di acido carbonico liquido.

Al di là di quella temperatura l'acido carbonico rimane gasoso qualunque sia la pressione esercitata.

Nello studio di questo fenomeno, è cosa importante il conoscere, per una data temperatura, la pressione minima sotto la quale la liquefazione è completa, vale a dire il gas interamente trasformato in liquido.

Congiungansi con una curva tutti i punti angolosi delle curve tracciate a diverse temperature, e si otterrà così la *curva critica* la di cui cognizione è della massima importanza.

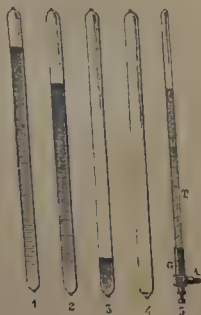



Fig. 480. – Tubi di Natterer.

Per ogni punto preso nell'interno della curva, vale a dire per una forza elastica ed una temperatura che gli corrispondono, l'acido carbonico esiste simultaneamente nei due stati.

Per qualsiasi punto preso nella porzione esterna della curva, l'acido carbonico esiste intieramente allo stato gasoso od intieramente allo stato liquido.

Quella curva critica ci dimostra che per ottenere il punto critico non basta abbassare la temperatura, ma che fa d'uopo altresì che la pressione non sia superiore ad un certo limite.

Infatti, se una parallela all'asse delle temperature non taglia la curva, e se la pressione conserva il medesimo valore, qualunque sia l'abbassamento di temperatura, ci sarà impossibile di trovare un punto critico.

Andrews compresse a 50° acido carbonico sino a 150 atmosfere.

Il volume del gas diminuì senza presentare discontinuità nel suo stato.

Il gas veniva raffreddato, la pressione mantenuta costante. Il fluido conservava sotto lo stesso volume la medesima apparenza.

Se dopo aver così raffreddato il gas, si diminuiva la pressione, si osservava l'ebollizione di un liquido. Sotto la pressione di 150 atmosfere, si era partiti a 50° da un gas per arrivare alla temperatura ordinaria a un liquido, senza veruna discontinuità nelle proprietà. Quelle esperienze sono facilmente tradotte in fatto coi tubi di Natterer (figura 480).

Questi tubi sono cannelli di piccolissimo diametro a pareti grosse, pieni di acido carbonico liquido a pressioni differenti. Quando si fa variare la temperatura del tubo presentano, secondo la pressione sotto la quale furono riempiti le particolarità che abbiamo sopra menzionato.

Proponiamoci ora di determinare le forze elastiche massime alle diverse temperature; in base a quanto si è studiato, le esperienze saranno limitate alla temperatura critica.

Si opera col metodo statico o col metodo dinamico.

Siccome l'acqua fu, di tutti i liquidi, il più particolarmente studiato, è appunto di questa che ci occuperemo.

Il metodo statico fu impiegato da Dalton.

Egli prendeva due barometri: l'uno perfetto, l'altro contenente acqua introdotta nella camera barometrica.

Si leggeva la differenza di livello (fig. 481), che indicava la forza elastica del vapore alla temperatura ambiente.

Fig. 481. — Apparecchio di Dalton per la misura delle forze elastiche dei vapori a temperature diverse.

Codesta determinazione alla temperatura ordinaria dà risultati esatti; ma a temperature più elevate i risultati non possiedono più esattezza sufficiente. Infatti i barometri sono messi in un cilindro di vetro pieno d'acqua portata alla temperatura alla quale si desidera effettuare l'esperimento. A questo modo di osservazione sono inerenti parecchie cause d'errore: l'acqua del manicotto si raffredda; essendo il manicotto cilindrico, le letture fatte attraverso il vetro e l'acqua in esso contenuta sono perturbate da errori dovuti alla rifrazione.

Regnault volle rendersi conto dell'errore dipendente dalla rifrazione. A tal fine operò a bianco; fece una lettura senza manicotto e senza liquido, poi ne fece un'altra con manicotto e liquido.

Le due letture presentavano una diversità sensibile.

Per correggere quell'errore introdusse una prima modificazione nell'apparecchio.

Adottò un manicotto di latta terminato superiormente con un vetro piano. Verificando col metodo precedente l'entità dell'errore commesso, potè convincersi che in questo caso la correzione dovuta alla rifrazione diventava nulla.

Così pervenne ad una prima modificazione dell'apparecchio che gli fornì risultati precisi per esperienze fatte a temperature inferiori a 50°.

L'apparecchio comprende sempre i due barometri, ma quelli non pescano completamente nel bagno. La parte superiore contenente il bagno è una vaschetta di latta a pareti piane formate da vetri piani. L'altezza della vaschetta essendo diminuita, l'uniformità di temperatura nei varii strati si raggiunge agevolmente. La temperatura rimane uniforme nella cassa sino a che non si oltrepassano i 50°.

Le differenze di livello si rilevano con cannocchiali fissati ad un regolo diviso.

Le correzioni sono le seguenti:

1.° Ricondurre a 0° la colonna mercuriale;

2.° Misurare l'altezza della colonna d'acqua che galleggia sul mercurio;

3.° Correggere le letture dagli errori dovuti alla capillarità.

La prima correzione si effettua conoscendo la dilatazione del mercurio.

In quanto alle altre, Regnault le eliminava coll'artifizio seguente:

Egli faceva due letture: l'una, come nel caso precedente; la seconda riunendo i due tubi fra loro.

Egli ammetteva che nelle due letture gli errori fossero i medesimi, lo che gli permetteva di eliminarli facendone la differenza. Egli ammetteva pure, e ciò senza errore apprezzabile, che l'acqua rimanesse nei due casi in quantità eguale.

Ci entrava pur anche l'influenza del vapore di mercurio, ma questa sino ai 50° è trascurabile, sebbene non sia nulla, come si sarebbe tentati di ammettere.

Se ne mostra l'influenza mettendo in prossimità di una vasca di mercurio e al bujo linee tracciate con nitrato d'argento ammoniacale. Il vapore di mercurio fa annerire la soluzione, e i caratteri tracciati, dapprima invisibili, appajono in nero.

Regnault modificò il suo apparecchio per scoprire se mai nel suo modo d'operare si infiltrassero errori, e si studiò di metterli in evidenza variando l'esperimento.

Il tubo del vapore vien messo in relazione da una parte colla macchina pneumatica, dall'altra con un pallone, nel quale fu introdotta un'ampolla piena d'acqua bollita. Si immerge il pallone nel ghiaccio che si fonde e si legge il livello del mercurio nel tubo del vapore. Si fa allora andar in frantumi l'ampolla scaldando il pallone. Si fanno letture a diverse temperature.

I numeri trovati concordano coi precedenti. In questa esperienza il tubo non è bagnato dall'acqua.

Si può anche tuffare il pallone nell'acqua, purchè la temperatura esterna e quella del pallone differiscano di pochi gradi. Ciò permise di effettuare la correzione dovuta al vapore di mercurio.

Regnault ammise, per semplice ipotesi, che la forza elastica del vapore di mercurio fosse nulla a 0°, e trovò pel suo valore a temperature comprese fra 0° e 100°, numeri i quali sembrerebbero indicare che in questo caso il liquido dovrebbe distillare nel ramo freddo. Ma ciò non succede, poichè le condizioni dell'equilibrio meccanico non si stabiliscono molto presto, e la distillazione si opera lentamente.

Noi non abbiamo operato che a temperature superiori a 0°. Operiamo ora al disotto di zero, e gioviamoci di un fatto stabilito da Watt, cioè, che se le diverse parti di un recinto contenente vapore saturo sono a temperature diverse, la forza elastica massima che si stabilisce nel recinto corrisponde alla temperatura più bassa.

Le prime misure della forza elastica massima del vapore al disotto di zero sono opera di Gay-Lussac, che si servì del metodo di Dalton modificandolo un poco.

Il tubo del vapore B (fig. 482) è curvo alla sua estremità, e la parte curva pesca in un miscuglio refrigerante la cui temperatura è data da un termometro. Il liquido introdotto in quel barometro distilla nel ramo corto raffreddato. Gay-Lussac misurava, con un cannocchiale munito di reticolo e mobile, lungo un regolo graduato, la differenza di livello nel tubo del vapore e nel tubo barometrico.

Il difetto del metodo consisteva nella temperatura mal nota del miscuglio *pastoso* di ghiaccio e di sale usato come refrigerante. Regnault riprese quelle esperienze coll'apparecchio a pallone di cui si è precedentemente parlato. Il pallone faceva l'ufficio della parte curva del barometro di Gay-Lussac, e lo si immergeva in un miscuglio *liquido* di neve e di cloruro di calcio, la cui temperatura si manteneva costante rimescolandolo.

Fig. 482. — Apparecchio di Gay-Lussac per misure delle forze elastiche dei vapori a temperature inferiori a 0°.

Sino ad ora abbiamo operato soltanto coll'acqua, ma se avessimo liquidi la cui forza elastica massima del vapore è vicina alla pressione atmosferica o le è superiore alle temperature ordinarie, dovremmo modificare l'apparecchio ed impiegare in luogo del manometro barometrico un manometro ad aria libera.

Dalton prese un tubo ad U il cui ramo più piccolo era chiuso. Riempì quel ramo di mercurio, poi, inclinando il tubo, vi faceva passare il liquido da vaporizzare, indi leggeva la differenza di livello.

Regnault, col medesimo intento, si servì spesso dell'apparecchio sopra descritto collegato ad un manometro ad aria libera. Il tubo ad U contenente il vapore pescava tutto quanto nella vaschetta a vetri paralleli contenente il bagno. Esso era separato dal manometro per mezzo di un tubo più sottile, che serviva per introdurre l'acqua ad una pressione opportuna.

Le letture dei livelli si facevano con un cannocchiale fissato ad un regolo graduato, e le colonne mercuriali erano ridotte alla temperatura di 0°.

Pei corpi assai volatili, come sono i gas liquefatti, Regnault modificò l'apparecchio.

Egli prendeva un vaso di ferro resistente, tuffato in un bagno di cui gli era nota la temperatura. Il vaso era suddiviso in varii scompartimenti, le sezioni dei quali erano note, e vi si introduceva un noto peso di mercurio. Il secondo scompartimento comunicava con un manometro ad aria compressa, e il gas liquefatto veniva introdotto nel primo scompartimento. Lo si manteneva compresso per mezzo di una pompa. Conoscendo la differenza di livello dei due rami del manometro, il peso del mercurio introdotto e la sezione dello scompartimento, se ne deduceva la differenza di livello nei due scompartimenti.

Regnault dà risultati per l'acido carbonico, ma sono erronei. Infatti è indispensabile operare al disotto della temperatura critica, poichè altrimenti il vapore non sarebbe saturo. Ora, Regnault operò a 45°, mentre il punto critico per l'acido carbonico è a 30°. In tali condizioni egli operava col gas e non più col vapore saturo. L'apparecchio, che era di ferro, non gli aveva consentito di osservare quando il vapore era saturo o no.

Il principio del metodo dinamico fondato sulla ebollizione è stato enunciato da Dalton, ed ha servito a Regnault nelle sue esperienze ad alta temperatura.

Prima di parlare dei lavori di Regnault, menzioneremo le esperienze di Dulong ed Arago, intraprese dietro una domanda indirizzata dal governo all'Accademia delle scienze.

Una caldaja a vapore C (fig. 483), a pareti robuste, munita di una valvola di sicurezza, comunicava per un tubo $S\,t$ con un manometro ad aria compressa $r\,r$, che aveva servito a Dulong ed Arago nel loro studio della legge di Mariotte.

Si scacciava l'aria contenuta nella parte superiore della caldaja per mezzo dell'ebollizione, mantenendo aperta la valvola di sicurezza, poi questa veniva chiusa ed opportunamente caricata.

La forza elastica del vapore acqueo saturantesi era misurata mediante un manometro.

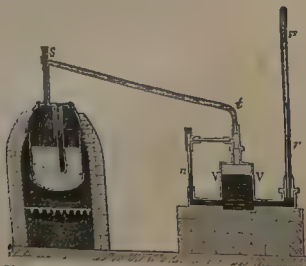



Fig. 483. — Misura della forza elastica del vapore: apparecchio Dulong e Arago.

La temperatura corrispondente leggevasi su termometri posti in tubi di ferro verticali contenenti mercurio, disposti nella caldaja, l'uno nell'acqua, l'altro nel vapore. Dulong ed Arago operarono sino alla temperatura di 224°.

La pressione corrispondente era di 24 atmosfere.

Regnault fece due serie di esperienze: le une con una piccola caldaja a temperature inferiori a 50°, verificando così i risultati che aveva precedentemente ottenuti; le altre con una caldaja più grande a temperature più alte.

Egli si serviva di una caldaja A (fig. 484) in comunicazione con un pallone B contenente aria che veniva rarefatta pel tubo $t\,t'$.

Quattro termometri, protetti da guaine di ferro pieno di mercurio e immersi, due nel liquido e due nel vapore, davano la temperatura.

Egli misurava:

1.° La temperatura alla quale si produceva l'ebollizione. Era avvisato che l'ebollizione avveniva dal fracasso che la accompagna e sopratutto dalla stabilità della temperatura indicata dai termometri.

2.° La pressione alla quale si produceva l'ebollizione; pressione che era data dal manometro *M*.

Era mestieri che durante l'esperimento la forza elastica fosse invariabile, e questa invariabilità si otteneva solo in grazia della grande capacità del pallone mantenuto a temperatura invariabile.

Era necessario un pallone molto grande per poter trascurare tutti i raccordi.

Per operare a temperatura più elevata, fa d'uopo aumentare la pressione; per converso necessita diminuirla per operare ad una temperatura più bassa.

Per temperature più alte, Regnault si servì di una caldaja più grande e perfezionò talune parti dell'apparecchio.

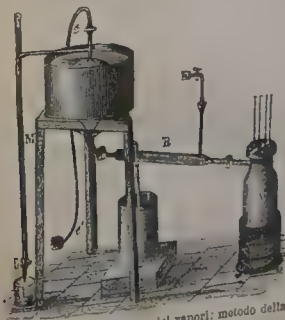



Fig. 484. — Misura della forza elastica dei vapori: metodo della ebollizione.

Regnault espresse quei risultati:

1.° Col mezzo di tavole;

2.° Col mezzo di curve.

(Egli portava in ascisse le temperature, in ordinate le forze elastiche.)

Per una medesima serie di esperienze le curve erano continue. Se si prendevano parecchie serie di esperienze, le curve variavano colla serie e sembravano spostarsi parallelamente a sè stesse.

Regnault prendeva una curva media, e così correggeva certi errori dei quali non poteva rendersi padrone e che si infiltravano in ogni serie di esperienze.

Considerando il risultato di quegli studi, dovremo notare che la curva dell'acqua non presenta discontinuità passando per 0°. La forza elastica del ghiaccio o dell'acqua è dunque la medesima per una medesima temperatura: da ciò la legge:

1.° *Lo stato solido o liquido non influisce punto sulla forza elastica del vapore;*

2.° Se prendiamo una mescolanza di liquidi che non abbiano veruna azione chimica gli uni sugli altri, e nemmeno si sciolgano gli uni

negli altri, *la forza elastica massima della mescolanza è la somma delle forze elastiche massime di ciascun liquido.*

Se al contrario vi ha mescolanza di soluzioni, la forza elastica massima del miscuglio è *più piccola* della somma delle forze elastiche massime di ciascun liquido, e spesso si trova persino più piccola della forza elastica massima del liquido più volatile.

Regnault volendo verificare la legge di Dalton per la mescolanza di gas e di vapori, trovò che la forza elastica massima di un vapore è più piccola in un gas che nel vuoto.

Ma ciò succede perchè le pareti del pallone condensano vapori che formano allora uno strato liquido.

La legge si verificherebbe nel caso che le pareti del vaso fossero formate dal liquido stesso.

La forza elastica di una soluzione salina è sempre inferiore a quella del liquido puro.

Per fare tali esperienze fa mestieri ricorrere al metodo statico. Infatti, nel metodo dinamico, liquido e vapore si trovano a temperature diverse. Il termometro è allora bagnato dal liquido del quale indica la temperatura.

Fig. 485. — Distribuzione di temperatura lungo una sbarra metallica scaldata ad una delle sue estremità.

Tutti i corpi della natura lasciano che il calore si propaghi a poco a poco nella loro massa, spesso ad una grande distanza dal punto ove lo ricevono, ed il riscaldamento delle molecole successive ha luogo dopo intervalli di tempo bene apprezzabili. Codesta permeabilità interna del calore che le diverse sostanze possiedono a gradi diversi, venne chiamata *conducibilità calorifica* (fig. 485).

Perciò, quando tenendo un cucchiajo d' argento per una delle sue estremità, si tuffa l'altra nell'acqua bollente, il cucchiajo si scalda ben presto per effetto della conducibilità, al punto che diventa impossibile di tenerlo stretto più a lungo. I corpi solidi non possiedono tutti al medesimo grado il potere di condur il calore.

Disponiamo, per esempio, due sbarre delle medesime dimensioni, ma di natura diversa, estremo contro estremo, e fissiamo lungo quelle sbarre pallottole di legno mediante la cera. Scaldiamo il punto di congiunzione delle sbarre, la cera si fonde successivamente e le pallottole si staccano le une dopo le altre. La sbarra che conduce meglio il calore sarà quella ove la temperatura di fusione della cera si sarà propagata più da lontano, vale a dire quella il cui numero di pallottole che cadono è il più grande.

Ingenhousz costruì un piccolo apparecchio che permette di compa-

rare agevolmente la conducibilità di diversi corpi cui fu data la forma di sbarra (fig. 486).

Egli pianta nella parete di una vasca rettangolare aste eguali di sostanze diverse spalmate con un sottile strato di cera.

Riempie la vasca d'acqua bollente, il che porta a 100° le estremità di tutte le aste, ed il calore si propaga gradatamente nell'asta e fa fondere la cera. Quanto maggiore è la conducibilità della sostanza e tanto più lungo è il tratto su cui si fonde la cera. Si noti, tuttavia, che la conducibilità è indicata dalla intensità del riscaldamento e non dalla sua rapidità.

Si riconosce così che i metalli sono inegualmente conduttori e che possono essere disposti per conducibilità decrescente nell'ordine seguente:

Argento, rame, oro, ottone, stagno, ferro, piombo, platino, bismuto.

La singolare proprietà che possiedono le tele metalliche, cioè quella di tagliare le fiamme, è dovuta alla conducibilità dei metalli. Se sopra la fiamma di un becco di gas si pone una tela metallica, la fiamma è intercettata. Se, per converso, si fa arrivare il gas sul tubo e si accende la fiamma al disopra della tela, la fiamma non si propaga al disotto.

Fig. 486. Conducibilità dei solidi: apparecchio di Ingenhous.

Davy fece una bella applicazione di questa proprietà delle tele metalliche costruendo, pei minatori, una lampada di sicurezza mediante la quale si evitano le esplosioni del gas della miniera a contatto di un corpo infiammato.

Si tratta di una lampada comune circondata da una tela metallica. Se il *grisù* si forma nella galleria, la detonazione si produce nell'interno della lampada, ma la tela metallica intercetta la fiamma e l'operajo può uscire dalla miniera senza pericolo.

Benchè disugualmente conduttori, tutti i metalli possiedono una conducibilità superiore a quella di tutte le altre sostanze, come sarebbero il legno, i mattoni, il marmo, ecc. Gli è a questo fatto che si deve attribuire l'impressione di freddo che si risente toccando certi corpi buoni conduttori. Se si mette la mano sopra una piastra di ferro che sia alla temperatura di circa dieci gradi, si prova una sensazione di freddo fortissima; lo stesso dicasi se la si tuffa nel mercurio. Questa sensazione scompare quasi completamente col legno. È impossibile tenere in mano un pezzo di metallo scaldato ad una estremità, mentre si tiene perfettamente un fiammifero acceso da un capo.

Si usufruisce la cattiva conducibilità del mattone nella costruzione delle ghiacciaje. Queste sono fosse rotonde foggiate a tronco di cono, di 6 a 8 metri di diametro alla bocca, e costrutte in mattoni. Vengono riempite di ghiaccio, coperto superiormente con paglia. L'acqua derivante da una fusione parziale salda i pezzi e costituisce un solo masso. Un'apertura sul fondo serve a dare sfogo all'acqua.

I liquidi, ad eccezione del mercurio che si comporta come un metallo, sono pessimi conduttori del calore. Per assicurarsene fa d'uopo scaldare una colonna liquida per la parte superiore ed osservare le variazioni di temperatura al disotto.

Così si elimina la correzione che dovrebbe introdursi in forza del rapido riscaldamento del liquido.

Sul fondo di un tubo di vetro si mette un pezzo di ghiaccio, che si fa di tutto per mantenere in quella parte del tubo, benchè questo venga riempito d'acqua. Si scalda la porzione superiore del tubo e si produce l'ebollizione dell'acqua in quella parte solamente; il ghiaccio situato al disotto non si fonde punto.

In quanto ai gas, essi sono ancor più cattivi conduttori dei liquidi; ma le esperienze dirette sono difficili, perchè è quasi impossibile di mettersi al riparo dalla convezione.

Il difetto di conducibilità delle sostanze filamentose proviene sopratutto dal fatto che esse tengono imprigionato uno strato d'aria.

Il piumino, di cui si coprono i letti durante il verno, deve i suoi effetti alla sua cattiva conducibilità e sopratutto a quella dell'aria imprigionata fra i fiocchi della pelurie. L'uso delle doppie invetriate riposa sulla cattiva conducibilità dello strato d'aria chiusa fra le due pareti.

Il difetto di conducibilità delle guarniture di feltro fu utilizzato nella costruzione di un singolare apparecchio noto sotto il nome di *pentola automatica*. Consiste in una cassa, foderata all'interno con un grosso strato di feltro, nel centro del quale vi è una cavità che può ricevere una pentola metallica munita di un coperchio. Sopra di questa si mette un cuscino formato anch'esso di feltro.

Per fare il brodo si versano nella pentola le sostanze necessarie: acqua, carne, legumi, ecc., e dopo averle fatte bollire si chiude la pentola nella cassetta. La cottura continua senza fuoco, e in poche ore si compie. È un caso se la temperatura dell'acqua si è abbassata di 10° dopo tre ore.

L'idrogeno presenta un potere conduttore superiore a quello degli altri gas; sembra, con questa qualità, giustificare la natura metallica che gli è attribuita.

Per mettere in evidenza questa proprietà si può provocare in un tubo l'incandescenza di un filo di platino mercè la corrente elettrica. Quella incandescenza persiste qualunque sia la natura del gas introdotto nel tubo, precisamente come nel vuoto, ma in grado minore e variabile colla natura del gas. Se poi si fa passare l'idrogeno, l'incandescenza scompare.

Abbiamo spesso parlato di quantità di calore: ora ci proponiamo di misurare una quantità di calore. Il complesso delle esperienze per mezzo delle quali si effettua quella misura, costituisce la *calorimetria*.

I fisici presero per *unità di calore* la *caloria*, che è la quantità di calore necessaria per elevare la temperatura di un chilogrammo d'acqua da 0° a 1°.

Chiamasi *calore*, o *calorico specifico* di un corpo, la quantità di calore necessaria per elevare la temperatura dell'unità di peso di quel corpo da 0° a 1.° Il calore specifico dell'acqua è per definizione uguale a *uno*.

L'esperienza dimostra che occorre sensibilmente la medesima quantità di calore per una variazione di temperatura di 1°, cosicchè il calore specifico di un corpo si può definire: la quantità di calore necessaria per far variare di 1° la temperatura dell'unità di peso di esso corpo. Ne segue che per elevare per esempio di 10° la temperatura di un corpo, bisogna fornirgli un calore dieci volte maggiore di quanto occorre per elevare la temperatura da 0° a 1°.

Per determinare il calore specifico di un corpo si usa generalmente il *metodo delle mescolanze*, del quale esporremo semplicemente il principio.

Si ammette: 1° che la quantità di calore perduta da un corpo, che si abbassa per esempio di 10°, sia eguale a quella che bisognerebbe fornirgli per elevare la sua temperatura di 10°; 2° che quando si mescolano due o più corpi portati a temperature disuguali, dopo un certo tempo si stabilisce una temperatura uniforme, e che la quantità di calore *guadagnata* dai corpi che si sono scaldati è eguale a quella *perduta* dai corpi che si sono raffreddati.

Ordinariamente l'operazione si fa in un vaso di ottone pieno d'acqua chiamato *calorimetro* (fig. 183). L'osservazione del termometro dà la temperatura al momento della immersione del corpo, e quella della mescolanza quando ogni scambio di calore è cessato, quando cioè si è raggiunta la temperatura stazionaria.

L'applicazione di questo metodo non è sempre così semplice.

Notiamo che il corpo è spesso chiuso in un involucro che si raffredda con esso e che fornisce una parte del calore ceduto. Di più non è soltanto l'acqua del calorimetro che si scalda è anche il calorimetro medesimo, i termometri e gli altri organi che potrebbero eventualmente esistere.

Se noi consideriamo una tavola del calore specifico delle diverse sostanze, riconosciamo subito che tutti quei calori specifici sono più piccoli dell'unità.

Così, quello dell'argento è 0,05601, il che vuol dire che se a 1 chilogrammo d'acqua abbisogna una caloria per elevarsi da 0° a 1°, per lo stesso inalzamento di temperatura di un chilogrammo d'argento basteranno calorie 0,05601.

L'acqua è fra tutti i corpi quello il cui calore specifico è il più notevole, e questa grande capacità calorifica dell'acqua sostiene una parte importante dal punto di vista delle temperature terrestri. Essa restringe la variazione di temperatura dell'atmosfera assorbendo col suo riscaldamento e la sua vaporizzazione una grande quantità di calore, e restituendone all'aria una grande quantità col suo raffreddamento.

L'acqua sostiene in natura l'ufficio di moderatore delle temperature; se essa scomparisse dalla superficie del globo, si produrrebbero dal giorno alla notte straordinarie variazioni di temperature.

Se i diversi corpi hanno calori specifici diversi, gli atomi invece dei diversi corpi richiedono, per scaldarsi il medesimo numero di gradi, la medesima quantità di calore. Questa è la legge di Dulong e Petit. Infatti essi notarono che il prodotto del peso atomico di un corpo pel suo calore specifico è un numero costante.

In quanto ai calori specifici dei gas, noteremo semplicemente che fa mestieri distinguere due specie di calori specifici:

1.° Il calore specifico a pressione costante, quantità di calore necessaria per elevare di 1° la temperatura dell'unità di peso di un gas, potendo quel gas dilatarsi liberamente, ma conservando la medesima forza elastica;

2.° Il calore specifico a volume costante, quantità di calore necessaria per elevare di 1° l'unità di peso di quel gas conservando questo un volume invariabile ed aumentando solo la sua forza elastica.

Pei solidi e pei liquidi codesta distinzione è inutile, poichè la loro dilatazione è piccolissima ed in generale si dilatano liberamente.

Secondo le esperienze di Clemente Désormes, Masson e Regnault il rapporto dei due calori specifici fu trovato costante per tutti i gas ed eguale ad 1,41.

I calori di fusione e di vaporizzazione si determinano, come i calori specifici, col metodo delle mescolanze.

Laprovostage e Desains hanno trovato pel calore di fusione del ghiaccio, calorie 79,25.

Regnault fece un lavoro importantissimo sul calore di vaporizzazione dell'acqua. Egli trovò che la quantità di calore necessaria per far passare un chilogrammo d'acqua a 100° allo stato di vapore, senza cambiamento di temperatura, è eguale a 536 calorie.

Nell'industria, ciò che importa conoscere si è la quantità totale di calore necessaria per produrre ad un tempo l'elevazione di temperatura e la vaporizzazione.

Regnault trovò fra Q, quantità totale di calore necessaria alla vaporizzazione a T° dell'acqua primitivamente a 0°, e T°, la relazione: Quantità di calore $Q = 606{,}5 + 0{,}305 \times T$.

Gli animali sono la sede di diversi fenomeni chimici, il cui risultato è la produzione di calore, calore che mantiene presso a poco costante, per una stessa classe di animali, la temperatura interna dei loro corpi. Quella temperatura varia da una classe all'altra; così quella del piccione è di 43°, quella della scimia 40°, quella del serpente 31°, quella dell'ostrica 27°, quella del gambero 26°, quella del grillo 23°, quella della trota 14° (1).

Dopo aver studiato i diversi effetti del calore sui corpi fu d'uopo cercare se esiste relazione fra il calore ed il lavoro meccanico.

Lo studio sperimentale di queste relazioni costituisce la *termodinamica.*

Se consideriamo una macchina arrivata al suo periodo di attività uniforme, i principii della meccanica razionale ci insegnano che deve esistere eguaglianza fra il lavoro delle forze dette motrici ed il lavoro delle forze dette resistenti. Ora, se noi valutiamo da una parte il *lavoro motore*, dall'altra il lavoro delle forze resistenti o il lavoro utile, riconosciamo sempre una superiorità del lavoro motore sul lavoro utile.

Prendiamo ad esempio una macchina nella quale una caduta d'acqua è impiegata a produrre un'altra caduta d'acqua. Questo era il caso dell'antica macchina di Marly, dove in un tempo dato una certa quantità d'acqua era trasportata da un serbatojo ad un altro più elevato.

In questo caso il prodotto del peso dell'acqua che cade per l'altezza della sua caduta, rappresenta il *lavoro motore* durante il tempo considerato.

Nel medesimo tempo, il *lavoro utile* è rappresentato dal prodotto del peso dell'acqua sollevata per la differenza di livello dei serbatoi. Ora

(1) L'animale vien collocato in una gabbia di vimini nell'interno di una cassetta di rame immersa in un calorimetro. L'aria seccata da un gasometro penetra nella gabbia ed i prodotti della respirazione da espellersi circolano attraverso il calorimetro in un serpentino, poi sono raccolti ed analizzati.

questo lavoro utile non è mai altro che una frazione del lavoro motore.

Nella macchina di Marly era il decimo. Nelle migliori macchine è appena i due terzi. Questo fatto si spiega colla considerazione delle resistenze dette passive, la principale delle quali è l'attrito.

In realtà noi abbiamo speso un lavoro motore ed abbiamo raccolto un lavoro utile minore.

Ammesso il principio che nulla si perde, ne viene di necessità che devono essere avvenute trasformazioni, e noi dobbiamo indagare qual sia la trasformazione operatasi, che cosa è divenuto il lavoro perduto.

La meccanica ammette una forza particolare, l'*attrito*, definita da questa condizione, che il suo lavoro è precisamente eguale alla differenza fra il lavoro motore ed il lavoro utile. Ma se osserviamo le superficie sfregantisi, riconosciamo che esse sono la sede di una elevazione di temperatura tanto più notevole quanto più *forte* è l'*attrito*, ovvero, ciò che è identico, quanto *maggiore* è la *perdita di lavoro*.

Ci troviamo di fronte a un riscaldamento al quale non corrisponde il raffreddamento di veruna parte della macchina, ad una vera *creazione* di calore. Questo fatto non può sorprenderci poichè tutti sanno che strofinando due corpi uno contro l'altro si riscaldano, e la produzione di calore è tanto maggiore quanto più notevole è lo strofinamento.

Quando un convoglio ferroviario è fermato nella sua corsa dal freno stretto dal macchinista, spesso dalla ruota, immobilizzata nella sua corsa, scaturiscono scintille.

L'asse di una ruota di carro da ferrovia viene lubrificata durante la corsa affinchè il suo sfregamento contro i cuscinetti non lo porti ad una temperatura troppo alta. Per la medesima ragione il meccanico spalma di grasso gli organi della sua macchina, il falegname i denti della sega, ecc. Ciò si fa coll'intento di impedire la trasformazione del lavoro meccanico in calore, allo scopo di usufruire quasi totalmente il lavoro consumato.

La gente di mare verifica che l'acqua marina si scalda durante una tempesta, ed è l'attrito delle onde che si urtano tra loro che si converte in calore.

Il mercurio che cade da una capsula in un'altra può, dopo diverse cadute, scaldarsi al punto di infiammare del petrolio messogli a contatto.

D'inverno noi ci scaldiamo le mani fregandole una contro l'altra. I selvaggi accendono il fuoco strofinando due pezzi di legno secco uno contro l'altro.

Rumford (1), alla fonderia di cannoni di Monaco, fu vivamente impressionato dal grado elevatissimo di temperatura che acquista un cannone di bronzo in pochissimo tempo durante la trapanatura (fig. 487), e, verso il 1798, pervenne a produrre e mantenere l'ebollizione dell'acqua usufruendo quello svolgimento di calore. Fu egli che per il primo richiamò

(1) Thompson di Rumford, dotto americano, nato nel New-Hampshire, il 26 marzo 1753, morto ad Auteuil il 21 agosto 1814; diventato, in seguito alla guerra dell'Indipendenza, ministro della guerra dell'elettore di Monaco, nel 1790 intraprese i suoi primi studi scientifici e fece importanti scoperte sul calore e sulla luce; fra le sue opere citiamo le *Ricerche sulla sorgente di calore generata dall'attrito.*

l'attenzione degli scienziati sulle relazioni che esistono fra il calore ed il lavoro meccanico.

Davy, strofinando l'uno contro l'altro due pezzi di ghiaccio li vide fondersi sotto l'azione del calore sprigionato. Consumando senza limiti il lavoro meccanico, si produce senza limiti il calore.

Tutti questi fatti dimostrano chiaramente la *trasformazione del lavoro in calore*. La trasformazione inversa è pure possibile.

Rumford lo mostrò con una esperienza semplicissima; caricava una carabina ora a polvere, ora a palla. Notò che la carabina si scaldava di più nel primo caso che nel secondo: il lavoro prodotto nel cacciar fuori la palla aveva dunque assorbito calore.

Tutti questi fatti dimostrano l'esistenza di una correlazione fra il calore ed il lavoro.

Dunque, che v'ha di più naturale del vedere in questa creazione di calore l'equivalente della differenza fra il lavoro perduto ed il lavoro utile!

Spetta all'esperienza indicarci se esiste una relazione intima fra il lavoro perduto in apparenza ed il calore che si manifesta nel medesimo tempo.

Per metterci nelle condizioni più semplici, supponiamo che il lavoro utile sia nullo. In questo caso, la macchina non è mantenuta allo stato di movimento uniforme che dall'azione simultanea di una forza esterna motrice e dell'attrito. Ritornata che sia la macchina in riposo, noi non riconosciamo modificazione di sorta nel suo stato; il solo effetto apparente è una creazione di calore: diviene allora evidente che un lavoro motore può spendersi dando unicamente origine ad un fenomeno termico.

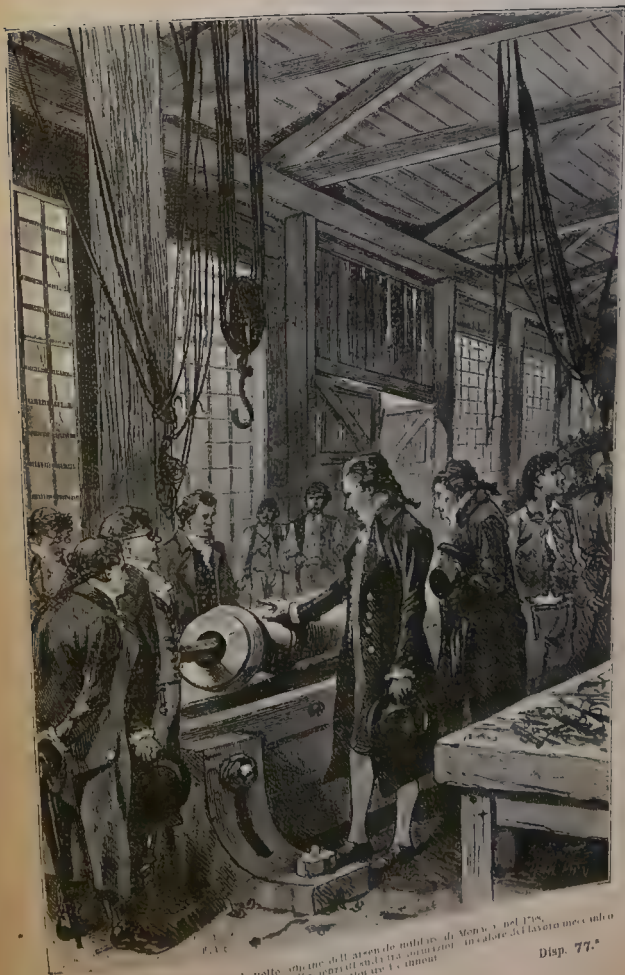
A questo riguardo si ha un'esperienza di Tyndall che è molto concludente.

Un tubo di metallo contenente etere è chiuso da un tappo. Una manovella che comanda una ruota dentata ingranata sopra una ruota di un diametro più grande, permette di comunicare al tubo, per mezzo di una puleggia e di una fune, un movimento rapido di rotazione intorno al suo asse. Stringendo il tubo, durante la sua rotazione, con una pinzetta piatta, si determina uno sfregamento.

Tale sfregamento dà origine ad un inalzamento di temperatura del tubo e dell'etere che esso contiene, inalzamento che fa crescere la forza elastica del vapore di etere, in guisa che il tappo finisce coll'essere projettato con violenza.

Lo sforzo esercitato per far girare la manovella è in questo caso la forza esterna che agisce sul sistema formato dalla pinzetta e dal tubo. Questo sistema non fornisce lavoro di sorta, anzi ne riceve, e ciò accresce la sua energia di una quantità eguale al lavoro ricevuto.

Eppure quando l'apparecchio è tornato in riposo, essendo il tappo fissato in guisa che non possa saltare, il solo effetto riconosciuto è una creazione di calore; noi dunque chiameremo *aumento di energia calorifica* questo aumento dell'energia del sistema. Infatti esso diventa capace di projettare il tappo.

In quanto sia al calore sviluppato per strofinamento, qui ci è impossibile di misurarlo allo stato di lavoro; ma noi possiamo paragonarlo ad un'altra quantità di calore definita con precisione ed assunta

come unità. Se fra i due numeri che misurano uno la grandezza del lavoro della forza motrice, l'altro la quantità di calore corrispondente al fenomeno termico, ESISTE, qualunque sia la natura delle sostanze sfregantisi, o più generalmente qualunque sieno le circostanze dell'esperimento, *una relazione semplice e costante;* la nozione di equivalenza fra il calore creato ed il lavoro motore necessario alla sua produzione si troverà perciò *stabilita.*

Ora l'esperienza prova che *esiste un rapporto costante fra la quantità di calore creata per mezzo dello sfregamento o di un'altra circostanza qualunque, ed il lavoro effettuato per produrre quel calore.*

In ciò consiste l'espressione del PRINCIPIO DELL'EQUIVALENZA.

La media di numerose esperienze mostra che abbisognano sempre 41 700 000 ergs per creare una piccola caloria, o, ciò che è lo stesso, 425 chilogrammetri per produrre una grande caloria. In tutti i casi, la medesima quantità di lavoro fornisce sempre la medesima quantità di calore.

Nello studio dell'equivalenza del lavoro meccanico e del calore possono presentarsi due casi:

1.° Lavoro distrutto e trasformato in calore (per attrito, per urto, ecc.);

2.° Calore assorbito e lavoro corrispondente prodotto (macchina a vapore, ecc.).

Si devono a Joule, di Manchester, gli esperimenti più precisi sul calore d'attrito (1845-1849).

In una prima serie di esperienze egli usufruì l'attrito di un liquido contro un liquido.

Un asse munito di 8 palette girava rapidamente in seno ad un calorimetro ad acqua e provocava lo sfregamento dei dischi d'acqua mobili sui dischi d'acqua fissi.

Pesi di piombo discendenti lungo un regolo graduato fornivano il lavoro motore che faceva girare le palette.

Gli sfregamenti all'infuori del calorimetro erano resi trascurabili da un'ingegnosa e semplice disposizione dei pezzi, di maniera che la quantità di calore guadagnata dal calorimetro proveniva intieramente dal lavoro motore consumato, e forniva così il mezzo di calcolare l'equivalente meccanico del calore.

Joule trovò così, in una delle sue serie di esperienze, che abbisognavano 424 1 chilogrammetri per creare una grande caloria, ossia 41 601 000 ergs per creare una caloria.

Sostituì all'acqua del calorimetro il mercurio, e fece, nel caso di sfregamento di mercurio su mercurio, due serie di esperimenti, che gli diedero per la creazione di una grande caloria i numeri di chilogrammetri 424,2 e 425,5.

In due nuove serie di esperienze, Joule studiò lo sfregamento di un solido contro un solido. Due macine di ghisa sfregavano l'una contro l'altra in un calorimetro a mercurio. Egli ottenne così i numeri 425,9 e 424 8.

Era naturale di attribuire la leggiera sconcordanza di quei numeri agli errori inevitabili di sperimentazione, e di concludere che la quantità di calore sprigionata per attrito è proporzionale al lavoro della forza motrice consumata.

Il coefficiente di proporzionalità è indipendente dalla natura delle sostanze sfregantesi e molto sensibilmente è eguale a 425.

Esso significa che sviluppare la quantità di calore necessaria per inalzare da 0° a 1° la temperatura di 1 chilogrammo d'acqua, e sollevare un peso di 425 chilogrammi ad 1 metro d'altezza, dal punto di vista meccanico, corrisponde a produrre due effetti equivalenti. È mettere in giuoco la medesima quantità d'energia.

Parecchi esperimentatori eseguirono misure in casi nei quali il calore non è sprigionato dall'attrito. Qual valore l'esperienza assegna a quel rapporto?

Violle, usando l'apparecchio di Foucault, ha misurato da una parte il lavoro che è necessario impiegare per vincere la resistenza elettromagnetica delle correnti di induzione, dall'altra il riscaldamento del disco di rame che ne risulta tuffandolo in un calorimetro. Qualunque sia l'esperimento messo in opera, il risultato ottenuto è sempre il medesimo.

Egli trovò in una serie di esperienze numeri vicini al 425.

Una palla di piombo, lanciata da un'arma da fuoco e che colpisce un ostacolo resistente, si schiaccia e rimbalza con debole velocità, ma oltre a ciò si scalda al punto di diventare scottante ed anche di fondersi.

Hirn (1) studiò lo svolgimento di calore prodotto dall'urto di due corpi. Un grosso cilindro di ghisa sostenuto da corde verticali serve di ariete. Un'incudine di gres, la cui testa è coperta di ferro fucinato, è sospesa col medesimo metodo. Fra quei due organi si mette un pezzo di piombo di peso e di calore specifico conosciuto.

Si lascia cadere l'ariete da un'altezza nota. Il piombo, preso fra l'ariete e l'incudine, si scalda sotto quel colpo, ed il suo riscaldamento viene misurato da un calorimetro nel quale lo si lascia cadere. Il lavoro motore corrispondente è quello dell'ariete.

Hirn, prendendo la media di sei esperimenti, trovò come rapporto fra il lavoro espresso in chilogrammetri e il numero di grandi calorie sviluppate, il numero 425.

Fu ancora Hirn che si propose di misurare quel rapporto nella trasformazione inversa del calore in lavoro. Egli eseguì i suoi esperimenti in una filatura di cotone a Logelbach, presso Colmar, sopra poderose motrici a vapore.

Che cosa avviene in una macchina nel corso di un movimento alternativo dello stantuffo?

Una certa quantità d'acqua è presa dal condensatore, passa nella caldaja, si scalda, si trasforma in vapore saturo, si rende al corpo di

---

(1) Hirn (Gustavo Adolfo), detto alsaziano, nato al Logelbach, presso Colmar, il 21 agosto 1815, morto al Logelbach il 14 gennajo 1890; entrato come chimico in una fabbrica di tessuti di cotone del Logelbach, vi rimase come ingegnere quando la manifattura si trasformò in fabbrica di tele. Le più importanti questioni di fisica [illegible] divennero l'oggetto de' suoi studii. Nel 1880 [illegible] a Colmar un osservatorio meteorologico [illegible]. La lunga [illegible] menzionare le opere [illegible]

La sua opera principale [illegible] seguenti: [illegible] proprietà ottiche dei corpi [illegible] (1869) [illegible]

Hirn era membro corrispondente dell'A. [illegible] dell'[illegible] di [illegible] e di quasi tutte le assemblee scientifiche dei diversi paesi d'Europa.

tromba allo stato di vapore, solleva lo stantuffo, si dilata e ritorna al condensatore, di maniera che alla fine di questa serie di trasformazioni, nella macchina tutto si trova nelle condizioni primitive.

Non solo i varii organi del congegno hanno le medesime situazioni relative, ma lo stesso agente motore è ritornato esattamente al suo stato iniziale. E non pertanto un lavoro esteriore si è effettuato; sembrerebbe dunque realizzato il moto perpetuo, e lo sarebbe in fatti, se nel periodo di corsa nulla fosse scomparso.

Sino a tanto che consideriamo nella macchina a vapore unicamente fenomeni meccanici, sino a tanto che noi non cerchiamo altra energia all'infuori di quella del movimento sensibile degli organi che la compongono, le cose stanno precisamente così. Ma la difficoltà svanisce appena prendiamo in considerazione il calore messo in giuoco. Sotto l'azione del giuoco della macchina, il vapore nel formarsi toglie ad ogni colpo di stantuffo calore alla caldaja; per converso, esso ne apporta al condensatore quando passa in quello a liquefarsi. Se quelle due quantità di calore sono eguali, sussiste l'impossibilità; se sono disuguali, la difficoltà è dominata.

Sono precisamente tali misure che Hirn si propose di effettuare sulle macchine industriali.

Risulta dalle sue esperienze che il vapore porta nel condensatore meno calore di quanto ne prende dalla caldaja, e che il calore consumato nell'interno della macchina è proporzionale al lavoro effettivo del vapore, e questo appunto era lo scopo che Hirn si proponeva di raggiungere. In quanto sia al rapporto che egli non si proponeva di misurare esattamente, causa le gravi difficoltà che collegansi ad una tale misura, egli lo trovò oscillante fra 300 e 400.

La relazione precedentemente trovata non è dunque circoscritta al solo caso in cui il calore è sprigionato per istrofinamento. Il numero 425, determinato da Joule, che impiegò il metodo più diretto e più preciso, deve essere considerato come rappresentante in tutti i casi l'equivalente meccanico del calore o l'equivalente calorifico del lavoro, poichè tutte le indagini fatte a questo riguardo concordano. Tuttavia qui trova il suo posto una osservazione importante.

In tutte le esperienze sopra descritte noi abbiamo supposto che fossero messi in giuoco due soli fenomeni: 1.° consumo di lavoro; 2.° svolgimento di calore. L'equivalenza fra il calore sprigionatosi ed il lavoro consumato non esiste che nell'unico caso in cui quei due fenomeni soli sono in presenza. Se nel caso dell'esperienza si producesse un altro fenomeno, quella relazione non si verificherebbe più, a meno che non si tenesse calcolo anche del nuovo fenomeno.

Supponiamo, per esempio, che un corpo compressibile venga posto sotto uno stantuffo. Facciamo scendere lo stantuffo caricandolo di pesi. Esso compie un certo lavoro cui corrisponde un certo svolgimento di calore, ma codesto calore non è più equivalente al lavoro consumato, perchè interviene un altro fenomeno il cui effetto sussiste dopo l'esperienza. Il corpo che non era compresso, alla fine dell'esperienza si trova compresso.

Si esprime questo fatto dicendo che le esperienze per la determinazione dell'equivalente meccanico del calore devono essere fatte in *cicli chiusi*. Si dice che un sistema di corpi ha percorso un ciclo chiuso

quando ha subito una serie di trasformazioni tali che alla fine della serie si trova nello stato medesimo in cui si trovava sul principio.

Nel caso contrario il ciclo è aperto, e non si ha più diritto di scrivere che la totalità del lavoro speso appare sotto forma di calore.

Edlung, stirando un filo metallico, poi lasciandogli riprendere il suo stato primitivo, trovò per equivalente meccanico del calore un numero vicino à 425.

La considerazione dei gas aveva permesso al dottore J. R. Mayer, medico ad Heilbronn, nel Würtemberg, di calcolare per il primo, sul principio dell'anno 1842, l'equivalente meccanico del calore. Seguin aveva indicato in Francia un calcolo corrispondente nel 1839.

In poche parole, se una macchina termica consuma una quantità di calore Q per compiere un lavoro T, il numero che misura T in chilogrammetri è quello stesso che esprime il prodotto per 425 del numero che misura il calore sprigionato in grandi calorie.

Si ha dunque: $T = 425 \times Q$, ovvero $T - 425 \times Q = 0$.

Le macchine termiche godono una proprietà naturale, messa in luce da Carnot: esse sono *reversibili*. Mercè un motore esterno si può, consumando lavoro, far camminare una macchina a contro-vapore, vale a dire obbligarla a funzionare come una tromba aspirante e premente, essendo il vapore aspirato nel condensatore e ricacciato poscia nella caldaja.

Supponiamo che una macchina lavorando nel senso diretto agisca, consumando un lavoro T e prendendo dalla caldaja una quantità di calore Q, per passare da un certo stato definito ad un altro stato determinato.

Mediante una trasformazione a contro-vapore noi possiamo ricondurre la macchina da questo secondo stato al primo, fornendole un lavoro arbitrario T', e producendo una quantità di calore corrispondente Q'. Ma in tal caso la macchina è ritornata al suo stato iniziale ed il ciclo è chiuso. Noi abbiam dunque il diritto di applicare il principio della equivalenza.

Il lavoro effettivo, vale a dire la differenza $T - T'$ fra il lavoro eseguito dalla macchina ed il lavoro che le è stato fornito quando lavorava a contro-vapore, *deve* trovare il suo *equivalente calorifico* nel *calore effettivo* assorbito dalla macchina, vale a dire nella differenza $Q - Q'$ fra il calore assorbito dalla macchina quando essa ha fornito il lavoro T ed il calore sprigionato dalla macchina operante a contro-vapore.

La differenza in chilogrammetri $(T - T')$ ed il prodotto $425 \times (Q - Q')$ (essendo $Q - Q'$ un numero di grandi calorie) saranno dunque espressi dal medesimo numero, vale a dire che $T - T' = 425 (Q - Q')$, il che è come dire che l'eccesso del lavoro sull'equivalente meccanico del calore sviluppato corrispondente, cioè $T - 425 Q$, è espresso dal medesimo numero, qualunque sia la trasformazione effettuata, ovvero $T - 425 Q = T' - 425 Q'$. Si può quindi enunciare la legge seguente:

Il valore $T - 425 Q$ della differenza fra il lavoro effettuato e l'equivalente meccanico del calore corrispondente, per passare da un medesimo stato iniziale ad un medesimo stato finale, è costante, e indipendente dalla serie di trasformazioni che si fanno subire al corpo fra quello stato iniziale e quello stato finale.

Non abbiamo dimostrato questo teorema che pel caso della reversibilità, vale a dire pel caso ove basta una variazione insensibile delle condizioni dell'esperimento perchè la trasformazione si effettui in un senso inverso.

Perciò, in una macchina a vapore, se la pressione del vapore è la medesima da una parte e dall'altra dello stantuffo, vale a dire è la medesima nella caldaja e nel condensatore, basterà una variazione infinitamente piccola della pressione da una parte o dall'altra per far manovrare lo stantuffo, e per conseguenza la macchina, in un senso o nell'altro.

L'esperienza prova, e per conseguenza si ammette che: il principio dell'equivalenza e quello dello stato iniziale e dello stato finale (che non fu dimostrato che pel caso dei fenomeni reversibili), sono sempre applicabili anche ai fenomeni *non reversibili*.

In questo passaggio dallo stato iniziale allo stato finale, il lavoro T ed il calore corrispondente Q dipendono ad ogni istante dallo stato intermediario, ma la loro differenza $T - 425\ Q$ ne è indipendente.

Assorbendo il corpo una quantità di lavoro motore equivalente a $425\ Q$, si raccoglie una quantità di lavoro T utile più piccola di quella corrispondente al calore sviluppato. Bisogna adunque aggiungere al lavoro utile un lavoro V che noi indicheremo sotto il nome di lavoro *interno* o *di energia interna*, lavoro che si può supporre speso nell'interno del corpo durante la trasformazione. Noi abbiamo allora l'eguaglianza $425\ Q = T + V$, eguaglianza fra la somma dei lavori esterni *interni* e l'equivalente meccanico del calore sprigionato. La variazione di energia interna di un gas che si espande senza effettuare lavoro esterno è nulla.

Questa legge fu stabilita da Joule per mezzo delle esperienze seguenti:

Due vasi sono esposti in uno stesso calorimetro contenente una piccola quantità d'acqua. Uno di essi contiene il gas sottoposto all'esperienza, l'altro è vuoto. Se si apre il robinetto di comunicazione, il gas si espande e riempie i due vasi, ma il calorimetro non indica veruna variazione di temperatura.

Introduciamo ora i due vasi in due calorimetri distinti e ricominciamo l'esperienza. Si trova che il primo si raffredda quanto l'altro si scalda.

Joule enunciò la legge seguente: *l'energia interna di una massa gasosa rimane costante alla medesima temperatura, qualunque sia il suo volume.*

Al pari della legge di Mariotte, essa è approssimativa.

Joule e Thomson hanno trovato nelle loro esperienze che: *l'energia interna di una massa gasosa ad una stessa temperatura aumenta un poco col suo volume.*

Il calcolo dimostra che per l'aria a 20° sotto una pressione vicina alla pressione atmosferica, il lavoro interno nella decomposizione di una massa gasosa è circa 1/500 del lavoro esterno effettuato dal gas.

Per l'idrogeno quel rapporto non è più che di 1/1000, mentre per l'acido carbonico diventa 1/125.

I numeri ottenuti in tutte le misure citate dipendono evidentemente dalla grandezza delle unità di misura impiegate: unità di lavoro, di calore, grado.

Lippmann propose di surrogare la grande caloria con una unità assoluta la *termia*.

La *termia* è la quantità di calore che equivale alla unità di lavoro. Se l'unità di lavoro è il *chilogrammetro*, la termia sarà l'*equivalente del chilogrammetro;* se è l'*erg*, sarà l'equivalente dell'erg.

Il principio dell'equivalenza ci ha dato una relazione fra le quantità di calore messe in giuoco ed il lavoro prodotto; il principio di Carnot (1) ci darà una relazione fra la temperatura ed il lavoro e ci mostrerà che non si può mai trasformare la totalità del calore di cui si dispone in lavoro, mentre il lavoro meccanico può essere completamente trasformato in calore.

Questo principio è l'espressione profonda di osservazioni fatte sulle macchine a fuoco.

Consideriamo una piccola macchina a vapore: vi si osservano due sorgenti: l'una *calda* (caldaja), l'altra *fredda* (condensatore).

Se Q_1 è il calore fornito dalla caldaja, se Q_2 è il calore restituito al condensatore, la differenza fra quei due numeri $Q_1 - Q_2$ rappresenta il calore scomparso, che trova il suo equivalente meccanico nel lavoro T prodotto.

Carnot fu impressionato dal fatto che in qualsiasi macchina che trasforma il calore in lavoro, era necessaria una caduta di calore, come in un motore idraulico che non può produrre lavoro senza caduta d'acqua.

Egli notò che il calore che passava nel condensatore andava perduto senza utile di sorta, e si propose di studiare quali potessero essere le migliori condizioni per diminuire una tal perdita. Era evidente che la macchina diventava tanto più vantaggiosa quanto più grande era *il rapporto fra il lavoro prodotto e il lavoro corrispondente alla quantità di calore fornita dalla sorgente calda.*

Questo rapporto è l'espressione del *rendimento* della macchina.

Ora quali sono le condizioni di un rendimento massimo?

Fa mestieri che il lavoro utile sia il più grande possibile, e che non vi sia lavoro perduto. In una macchina a vapore, a cagion d'esempio, fa d'uopo che la differenza fra la resistenza da vincere e la pressione del vapore sia nulla, vale a dire che la pressione del vapore sull'embolo non sia superiore alla pressione nel condensatore.

Ci vuole adunque eguaglianza tra la forza resistente e la forza motrice, ma queste condizioni meccaniche sono precisamente quelle dell'equilibrio.

Del pari il corpo che trasforma il calore in lavoro, scaldato a contatto di un corpo caldo, raffreddato a contatto di un corpo freddo, non

(1) Carnot (Nicola Leonardo Sadi), figlio maggiore del grande Carnot, l'organizzatore della vittoria, nato a Parigi nel 1796, morto nel 1832. Allievo della Scuola Politecnica, combattè coi suoi animosi condiscepoli, nel 1814, sotto le mura di Parigi. Diede le sue dimissioni di capitano del genio per dedicarsi esclusivamente alle scienze. La sua commendevole opera: *Considerazioni sulla forza motrice del fuoco*, comparve nel 1824, ma l'alto valore di quell'opera fu rivelato ai francesi molti anni dopo dagli stranieri. Si seppe che in Inghilterra Sadi Carnot era considerato come il promotore di una rivoluzione nella meccanica, uguale a quella che i lavori dei grandi geometri determinarono sulla fine del secolo XVIII. Allora si [illegible] tesoro in Francia le opere di Carnot, si scoprirono le ricchezze scientifiche che contenevano, e finalmente fu resa giustizia alla memoria dell'illustre scienziato. Sadi Carnot era zio dell'attuale presidente della repubblica francese.

dovrà nell'intervallo raffreddarsi, e, per conseguenza, non dovrà essere in contatto con corpi a temperatura diversa dalla sua.

Ecco un'altra condizione di equilibrio termico.

Ora queste condizioni di equilibrio sono precisamente quelle della reversibilità di cui abbiamo già parlato, e che gli esempii seguenti faranno comprendere.

Una modificazione subita da un sistema è *reversibile* quando un cambiamento infinitesimale nelle condizioni del sistema basta perchè essa si eseguisca, sia in un senso, sia nell'altro.

Ecco un esempio:

Consideriamo un tubo munito di stantuffo al disopra del quale si trova un liquido a contatto col suo vapore. Se si fa variare estremamente poco il volume spostando lo stantuffo, si avrà liquefazione di un poco di vapore o volatilizzazione di un po' di liquido, a piacimento, secondo il senso della variazione.

Carnot ha considerato le trasformazioni reversibili formanti un ciclo particolare.

Esaminiamo il *ciclo di Carnot:*

1.° Il corpo subisce una trasformazione *isotermica*, vale a dire rimane a contatto con una sorgente calda a *temperatura fissa:* la caldaja, per esempio;

Il suo volume aumenta, ma la sua temperatura non *varia punto:* è *quella della sorgente calda;*

2.° Il corpo subisce una trasformazione *adiabatica*, vale a dire senza perdita di calore; isolato dall'esterno, si espande, aumenta di volume, ma la sua temperatura si abbassa sino a quella della *sorgente fredda:* il condensatore;

3.° Il corpo, sempre a contatto col corpo freddo, è compresso a temperatura costante, ma il suo volume diminuisce. Esso percorre l'isoterma relativo alla sorgente fredda;

4.° Il corpo ritorna al suo stato primitivo per mezzo di una nuova trasformazione adiabatica; lo si isola e lo si comprime, in guisa da ricondurre la sua temperatura a quella della sorgente calda.

Notiamo bene che il calore preso alla sorgente calda ha servito ad aumentare il volume del corpo e non la sua temperatura.

Un tal ciclo difficilmente può tradursi in fatto.

Rammentiamo che il coefficente economico, ossia il rendimento della macchina, è il rapporto fra la quantità di calore trasformato e il calore totale preso dalla sorgente calda, o, ciò che è lo stesso, il rapporto dei lavori equivalenti a quelle quantità di calore. Indichiamo quel rendimento colla lettera R.

Il suo valore numerico sarà dato dal quoziente $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$, Q_1 e Q_2 espressi in grandi calorie, ossia $\frac{T_2}{425\, Q_1}$, essendo T_2 espresso in chilogrammetri e Q in grandi calorie.

Carnot studiando motori reversibili e funzionanti secondo il suo ciclo, trovò che, *qualunque sia l'agente del motore*, acqua, aria, etere, acido carbonico, ecc., il risultato è il medesimo.

Il rendimento della macchina è indipendente dagli agenti messi in opera; esso è fissato unicamente dalla temperatura dei corpi fra

i quali si fa in ultima analisi il trasporto del calore. La macchina è fisicamente perfetta.

In altri termini:

Il coefficente economico R di una macchina reversibile che funziona secondo un ciclo di Carnot, è una costante per tutti i corpi, nei medesimi limiti di temperatura.

Questo principio di Carnot fu verificato da W. Thomson nel caso di parecchi agenti: acqua, aria, etere, alcool, essenza di terebentina.

Il calcolo dà per valore del rendimento $R = 0{,}003715$.

Per conseguenza noi ammetteremo che il *principio di Carnot è sanzionato dall'esperienza.*

Clausius enunciò un postulato che si può sostituire al principio di Carnot, poichè dal postulato si passa al principio di Carnot e viceversa. Eccolo:

Non si può trasportare il calore di un corpo caldo ad un corpo freddo senza consumare, sia lavoro, sia una porzione dell'energia del sistema.

Tutte le ricerche relative alla calorimetria sono state fatte per mezzo della nozione di *eguaglianza* o *disuguaglianza di temperatura.* Il principio di Carnot ci dà il mezzo di indicare una scala di temperatura indipendente dalla natura della sostanza termometrica.

Sieno T_1 e T_2 le temperature delle sorgenti calda e fredda, Q_1 la quantità di calore presa dalla prima, Q_2 quella resa alla seconda.

Eguagliamo i rapporti $\frac{Q_1}{Q_2}$ e $\frac{T_1}{T_2}$, avremo così definito un intervallo di temperatura, precisamente come si definisce un intervallo musicale.

Di più, quel rapporto, e per conseguenza quell'intervallo, è *indipendente* dal corpo che lavora, vale a dire dalla sostanza termometrica, poichè tutte le macchine termiche funzionanti secondo un ciclo di Carnot fra le due medesime sorgenti hanno il medesimo rendimento

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Se le quantità di calore Q_1 e Q_2 sono eguali, ne consegue che le temperature T_1 e T_2 sono pure eguali. In questo caso, il rendimento della macchina termica funzionante in quell'intervallo è nullo.

Se, per converso, Q_1 è superiore a Q_2, vale a dire se la quantità di calore attinta alla sorgente calda è superiore a quella restituita alla sorgente fredda, ne consegue, poichè si è posto $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$ che la temperatura T_1 è superiore alla temperatura T_2. In questo caso il rendimento della macchina è positivo. Così dunque si trovano definite l'eguaglianza e la disuguaglianza di temperatura.

Ciò che vien determinato in questa serie di temperature, è il rapporto di un termine all'altro.

Infatti, il rendimento di una macchina funzionante fra le temperature T_1 e T_2 è $R = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$.

Ora i rapporti $\frac{Q_2}{Q_1}$ e $\frac{T_2}{T_1}$ sono eguali, dunque l'intervallo fra due

temperature $\frac{T_2}{T_1}$ è eguale alla differenza fra l'unità ed il rendimento di una macchina termica che funziona fra quelle due temperature.

Si può dare ad uno dei termini della serie un valore numerico scelto arbitrariamente; gli altri termini saranno allora determinati.

Come si potranno ottenere le temperature assolute per mezzo di un termometro ad aria?

Il calcolo dimostra che le temperature assolute sono proporzionali alla forza elastica dei gas perfetti sotto volume costante.

Ora, se si prende il coefficiente di proporzionalità eguale a 273, vale a dire eguale all'inverso del coefficiente di dilatazione dell'idrogeno sotto volume costante, le temperature assolute saranno date da un termometro a idrogeno, colla semplice addizione del numero 273. Se t è la temperatura centigrada letta sul termometro a idrogeno, la temperatura assoluta T sarà eguale a $273 + t$.

Ciò suppone che l'idrogeno sia un gas perfetto, ma noi sappiamo che l'idrogeno può essere considerato come tale fra limiti estesissimi, e che fu appunto questa sua proprietà che ce lo fece scegliere come sostanza termometrica.

Ora la temperatura assoluta è, come abbiamo detto, proporzionale alla forza elastica dei gas sotto volume costante.

Lo zero della temperatura assoluta sarebbe dunque definito dalla condizione che a quella temperatura la forza elastica del gas fosse nulla.

Codesta definizione è vaga; praticamente il gas si liquefa molto prima di raggiungere la temperatura ove la sua pressione è nulla.

Se nell' espressione del rendimento di una macchina $R = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ o ciò che è lo stesso $R = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, facciamo $T_2 = O$, il rendimento diventa eguale a 1.

Allora lo zero assoluto è la temperatura nella quale una macchina funzionante secondo un ciclo di Carnot fra quella temperatura ed un'altra qualunque ha per rendimento il numero 1.

Tutto il calore attinto alla sorgente calda sarebbe trasformato in lavoro. La nozione dello zero assoluto così definita non ha più nulla di illogico.

La nuova scala termometrica è indipendente dal corpo che lavora, vale a dire dal corpo termometrico. Finalmente il *rapporto* dei calori preso alla sorgente calda e restituito alla sorgente fredda, che definisce l'intervallo di temperatura, è un *numero*, una costante fisica.

Esso è quindi *indipendente* dalle unità *di massa, di lunghezza* e di *tempo*.

Consideriamo un corpo che percorre un ciclo di Carnot. Sieno T_1 e T_2 le temperature assolute degli isotermi, e Q_1 e Q_2 le quantità di calore levato alla sorgente calda secondo l'isoterma T_1 e reso alla sorgente fredda secondo l'isoterma T_2.

Sopra gli adiabatici, gli scambii di calore, sono nulli per definizione.

Ora, dopo la definizione delle temperature assolute, i rapporti $\frac{Q_1}{T_1}$ e $\frac{Q_2}{T_2}$ sono i medesimi.

La differenza $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{Q_2}$ di quei rapporti è dunque nulla.

A quel rapporto $\frac{Q_1}{T_1}$ si diede il nome di *entropia* (1).

D'allora in poi $\frac{Q_1}{T_1}$ è l'entropia ricevuta dai corpi lungo l'isoterma T_1 e $\frac{Q_2}{T_2}$ quella ceduta lungo l'isoterma T_2. Ma siccome quella differenza è nulla, l'entropia ricevuta è eguale a quella restituita.

Ora, per un corpo che descrive un ciclo di Carnot, si può dire che la quantità totale d'entropia ricevuta dal corpo è nulla. Quindi si può dire che: *Il principio di Carnot è il principio della conservazione dell'entropia.*

Il principio dell'equivalenza e il principio di Carnot sono stati applicati ad un numero ingente di problemi troppo ardui ed astrusi per poter essere trattati in un libro elementare.

CONCLUSIONE GENERALE

In un esame superficiale, i fenomeni sembrano tutti diversi, perchè tutti presentano alcuni caratteri che loro sono speciali. I nostri sensi classificano quei fenomeni in gruppi apparentemente distinti: al senso dell'udito corrispondono i fenomeni sonori; al senso del tatto, i fenomeni calorifici; al senso della vista, i fenomeni luminosi, ecc.

Ma uno studio comparativo dei fatti condusse a riconoscere che suono, calore, luce, non son già agenti indipendenti, che abbiano una esistenza obbiettiva. Essi sono effetti del movimento delle particelle di un mezzo che possiede o no le proprietà generali attribuite alla materia.

Fu appunto per rammentare codesta *unità nella causa dei fenomeni* che costantemente adoperammo la parola *energia*. L'abbiam fatta seguire da qualificazioni sensazionali che servirono di base alla comune classificazione dei fenomeni: ENERGIA SONORA — ENERGIA ELETTRICA ENERGIA LUMINOSA — ENERGIA CALORIFICA.

Ed abbiamo appreso da numerosi esempii che una quantità di una data ENERGIA si può trasformare in ognuna delle altre ENERGIE, e ciò senza perdita: *l'energia si trasforma e si conserva indefinitamente.*

Ecco con quali parole Cornu caratterizza il compito della scienza fisica nel 1890 (2).

---

(1) Entropia, dal greco ἐν (en) τροπή (tropè): giro in, ritorno, evoluzione.

(2) *L'Ufficio della Fisica nei progressi delle scienze*, discorso pronunciato il 7 agosto 1890, al diciannovesimo congresso della Associazione francese pel progresso delle scienze, dal signor Cornu, membro dell'Istituto e dell'Ufficio delle Longitudini, ingegnere in capo delle miniere, professore alla Scuola Politecnica.

« Nel quadro che vi misi dinanzi agli occhi, mi studiai di darvi un'idea dell'ufficio che sostiene la fisica moderna nello sviluppo delle scienze che nascono dall'esperienza e dall'osservazione. Per incompleto che fosse quel quadro, voi nondimeno poteste vedere che la fisica ha conservato ad alto grado il carattere di scienza generale, così per la varietà degli oggetti che abbraccia, come per le relazioni intime che essa ha conservato colle scienze che altra volta facevan parte de' suoi dominii. Da una parte avrete notato quanto sussidio abbia recato a certe scienze, quali la chimica e l'astronomia fisica; dall'altro quanto abbia ricevuto dal di fuori per effetto dello sviluppo di certi rami, quali l'elettricità; essa è dunque atta del pari a fornire metodi delicati ed istrumenti di precisione e a trarre profitto dai suggerimenti venuti dalle scienze vicine; per conseguenza essa si presta mirabilmente agli scambii con tutti i rami della filosofia naturale.

« Mercè la sua vastità, che dai confini della storia naturale si estende sino alle speculazioni più astratte dell'analisi matematica, essa può dare, ad ogni scienza che faccia appello a' suoi metodi ed ai suoi apparecchi, quel grado, e dirò anzi più volontieri, quella dose di precisione che all'altra è opportuna.

« La fisica offre ancora un altro carattere notevole, ed è lo spirito generale che la domina e dirige il cammino de' suoi progressi. Mentre in talune scienze i fenomeni si suddividono all'infinito, in fisica tendono ad aggrupparsi; il calore è diventato una maniera di movimento, o meglio una forma particolare della energia; il magnetismo è scomparso fondendosi coll'elettricità, e la stessa elettricità lascia intravedere le sue affinità colle ondulazioni sonore. Perciò a misura che i diversi rami si perfezionano, le distinzioni scompajono e le teorie tendono ad unificarsi ognor più secondo le leggi del raziocinio.

« Nè ciò deve esserci cagione di meraviglia: la scienza deve essere una e semplice; i limiti che i filosofi tracciarono fra i diversi rami dello scibile umano sono artificiali; essi marcano soltanto l'ignoranza in cui viviamo rispetto ai legami reconditi che collegano le verità che i nostri antecessori ci tramandarono. Ma gli sforzi delle generazioni successive non furono vani, e noi intravediamo già il giorno nel quale quei limiti, ormai inutili, scompariranno da sè stessi e tutti i rami della filosofia naturale si congiungeranno in un'armonica unità. »

Ma perchè quella nobile speranza possa tradursi in fatto, per raggiungere un sì bel risultato, ci abbisognerà sapere che cosa è l'*etere*, del quale fummo costretti ad ammettere l'esistenza, che cosa è quel mezzo che riempie tutto lo spazio e serve di veicolo all'energia luminosa, calorifica, elettrica nel loro tragitto dal focolare ove hanno origine alla meta che vanno a toccare.

La grande incognita nelle nuove teorie scientifiche sono le qualità specifiche di codesto etere. Senza di esso sarebbe difficile di dare una spiegazione razionale della massima parte dei fenomeni, ma della sua individualità nulla sappiamo.

Per la scienza moderna esso è perchè non può non essere.

Concludiamo il nostro dire citando l'opinione del dottore Hertz, che riassume questa importantissima questione, e che mostra qual sia lo spirito col quale ci siam studiati di esporre, in un assieme possibilmente completo, lo stato attuale della *Fisica*:

« Uno dei problemi più ardui è quello delle azioni a distanza. Sono esse reali? Di tutte quelle che ci sembravano incontestabili, una sola ci rimane, la gravitazione. Ci sfuggirà anch'essa? Le leggi stesse della sua azione ce lo fanno pensare. La natura della elettricità è un' altra di quelle grandi incognite. Essa si riconduce alla questione dello stato delle forze elettriche e magnetiche nello spazio. Dietro a questa si solleva il problema più importante di tutti, quello della natura e delle proprietà della sostanza che riempie lo spazio, dell'*etere*, della sua struttura, de' suoi movimenti, de' suoi limiti, se ne possiede. Noi vediamo ogni dì più questa questione elevarsi sopra tutte le altre: sembra che la conoscenza dell'*etere* non debba soltanto rivelarci lo stato della sostanza imponderabile, ma svelarci eziandio l'essenza stessa della materia e delle proprietà che le sono inerenti, gravità ed inerzia.

« Gli antichi sistemi di fisica si compendiavano nel dire che tutto è formato d'acqua e di fuoco. Ben presto la fisica moderna si domanderà se tutte le cose esistenti non sono modalità dell'*etere*. Qui sta l'ultima fine della nostra scienza; quelli sono gli ultimi culmini che ci è dato sperar di raggiungere. Ci arriveremo un giorno? sarà presto? Non ne sappiamo nulla. Ma noi ci siamo elevati più in alto che mai, e possediamo un punto d'appoggio ben solido che ci agevolerà l'ascesa e la ricerca di nuove verità! »

ESPERIMENTI

DI

FISICA SENZA APPARECCHI

PRIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

OTTICA.

Imagini spettrali.

Se si mette vicino ad un focolare luminoso, per esempio una lampada, questa Torre Eiffel, in guisa che si trovi in piena luce, ecco cosa succede:

Se la si guarda, fissando gli occhi sul punto nero che si scorge presso

il suo centro per 20, 30 o 40 secondi (il tempo necessario varia secondo la vista degli sperimentatori); poi si portano gli sguardi verso il soffitto, nel punto ove è più illuminato (fa mestieri che il soffitto sia bianco) e sopra un foglio di carta bianca bene illuminato, *si vedrà in* NERO *l'imagine della Torre Eiffel.*

Inoltre si vede *in bianco* il fondo nero del disegno.

Colorando la Torre in *rosso*, e ricominciando l'esperimento si vedrebbe una Torre *verde;* una Torre *gialla* darebbe una tinta *violetta*, ecc.

Le teorie di questo fenomeno si trovano nel cap. IV della FISICA MODERNA.

SECONDO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

ELETTRICITÀ.

Scintilla elettrica ottenuta con un foglio di carta.

Noi abbiamo ottenuto scintille elettriche con metodi semplicissimi che abbiamo indicato ai lettori della Fisica moderna.

Esponendo al calore di un focolare (camino, stufa, fornello), e successivamente sulle due faccie, un *foglio di carta;*

Stendendolo, molto caldo, sopra un tavolo di legno in una stanza al bujo;

Strofinandolo fortemente col palmo della mano o col pugno, che si passa, in uno stesso senso, 15 o 20 volte (la mano deve essere asciutta);

Staccandolo dal tavolo ove aderiva, ed avvicinando un dito al foglio (posizione della figura);

Si vede scoccare una scintilla elettrica.

Siamo riusciti ad ottenere la scintilla con tutte le sorte di carta: carta da lettere, carta bibula, carta da giornale, ma il migliore risultato lo si ebbe da un foglio di carta Écolier, di 28 centimetri per 18, levigato e senza pieghe; si ottenne una scintilla di 5 millimetri.

La teoria di questo fenomeno si troverà nel libro II della Fisica moderna.

TERZO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

La colomba d'Archita che vola nell'aria.

Il foglio di carta che ci diede nel secondo esperimento scintille elettriche, ci servirà ora a sciogliere in una maniera altrettanto semplice quanto inattesa il problema che il padre Kircher pubblicava, nel 1654, nella sua *Arte magnetica* col titolo: *La colomba di Archita che vola nell'aria.*

La colomba è rappresentata qui da un pezzo di carta sottile e leggiera opportunamente tagliata. Ad una delle estremità si assicura un filo che si tiene in mano.

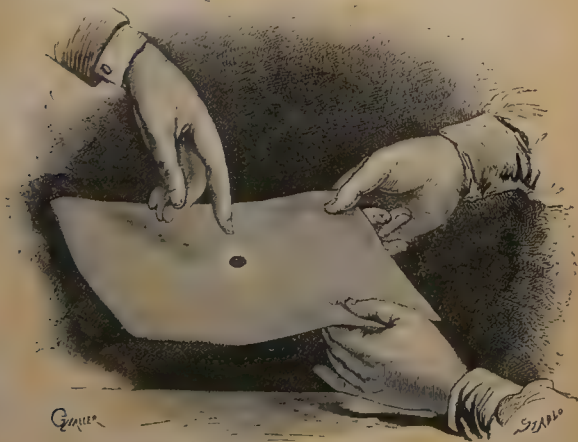
Il foglio di carta viene prima scaldato, poi strofinato fortemente sopra un tavolo colla mano, come si è indicato a proposito del secondo esperimento; lo si stacca dipoi e lo si porta in alto (posizione della figura).

Avvicinando allora la colomba al foglio, viene attratta. *Ritenendola col filo, rimane sospesa in aria.*

Nel libro II della Fisica moderna si troverà il disegno e la descrizione dell'apparecchio complicato ideato dal Kircher per raggiungere un risultato eguale a quello che noi otteniamo con un foglio di carta; vi si troverà pure la teoria del fenomeno.

QUARTO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

Luce elettrica:
lampi prodotti col sussidio di un foglio di carta e di una moneta.

Un *foglio di carta*, anzitutto scaldato, poi strofinato fortemente sopra un tavolo a tenore delle precedenti esperienze, ci permetterà di produrre una luce elettrica momentanea.

Sul foglio scaldato e strofinato, mettete una moneta qualunque d'argento o di rame;

Siccome è molto difficile il sollevare il foglio caricato della moneta con una sola mano, fatelo staccare dal tavolo e sollevare da un'altra persona;

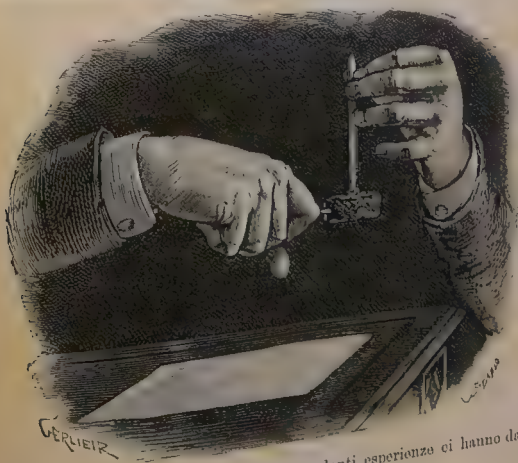
Avvicinate allora un dito alla moneta, e vedrete *una brillante luce elettrica circondare come un'aureola la moneta.* (Ben inteso che questi esperimenti sono da farsi al bujo.)

La spiegazione di questo fenomeno si trova nel libro II della FISICA MODERNA.

QUINTO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

La più semplice macchina elettrica:
l'elettroforo di Volta alla portata di tutti.

Abbiamo assestato una *Macchina elettrica* (secondo il principio dell'elettroforo per mezzo di sistemi semplicissimi).

Abbiamo circondato, avviluppato diligentemente una scatoletta di cartone con carta di stagno (carta delle tavolette di cioccolata). Questo

sistema ed il foglio di carta delle precedenti esperienze ci hanno dato una *Macchina elettrica*.

In fatti, dopo aver scaldato e strofinato il foglio di carta, noi posiamo su di esso il piccolo sistema (formato della scatola coperta di stagno e sormontata dal bastone di ceralacca).

Colle mani premiamo sulla faccia superiore della scatola perchè questa sia messa in comunicazione col suolo.

Alziamo poi con una mano la scatola tenendola pel bastone di ceralacca (posizione della figura) ed avvicinando l'altra mano *otteniamo una piccola scintilla elettrica*.

La spiegazione di questo fenomeno si trova nel libro II della Fisica Moderna.

SESTO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

MAGNETISMO.

Calamita artificiale preparata con filo di ferro.

Ecco un metodo per preparare calamite artificiali, molto più semplice di quello indicato nel capitolo IV della FISICA MODERNA.

Noi ci siamo serviti di un filo di ferro ricotto, non irruginito, lungo 15 centimetri e del diametro di due millimetri.

Quel filo, preso fra due tanaglie e torto (sempre nel medesimo senso) (posizione della figura), si calamitò in capo a dieci torsioni.

Questa calamita artificiale ha attratto la limatura di ferro ed anche un ago galleggiante sull'acqua. Affinchè l'ago galleggi, lo si mette sopra un pezzetto di carta bibula o di paglia; la carta cade ben presto al fondo, e l'ago rimane alla superficie.

Replicando più volte questa esperienza, abbiam creduto di notare che ottenevamo la calamitazione *soltanto* quando il filo che torcevamo si trovava in una direzione parallela a quella dell' asse magnetico terrestre. – Ogni volta che operavamo la torsione del filo, disposto in direzione perpendicolare all'asse, la calamitazione non si verificava.

SETTIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

ELETTRICITÀ.

Il pendolo a capelli.

L'esperimento che abbiamo ideato sotto il titolo di *Pendolo a capelli* può, in certi casi, dimostrare la presenza dell'elettricità nel corpo umano.

Il pendolo rappresentato dalla figura è quello dei laboratorii. Indichiamo il mezzo di costruirne uno senza difficoltà ed a buon mercato. Scelgasi un turacciolo di sughero abbastanza largo per servire di base ad un sistema; un intaglio consentirà di piantarvi un bastone di cera-

acca. Prendasi un filo d'ottone lungo 25 centimetri e se ne scaldi uno
ei capi che si introdurrà nell'estremità del bastone di ceralacca; non
imane più che da attaccare un filo di seta all'altro capo piegato del
filo di ottone. Ciò fatto, si sospenda all'estremità libera del filo di seta
una leggiera ciocca di capelli ben secchi, e si avvicini la mano (posizione della figura). Se la mano, se il corpo dello sperimentatore sprigiona elettricità, *si vedranno i capelli subire un movimento, sia di attrazione, sia di ripulsione.*

Questo esperimento è delicato; i risultati variano col variare delle persone; come molte altre esperienze di elettricità, non riesce sempre, essendo necessarie speciali condizioni atmosferiche. Si aumentano le probabilità di riuscita, strofinando con un gesto rapido le punte delle dita sopra una stoffa, panno, lana, flanella, ecc., ed anche isolandosi dalla terra. A tal fine basterà montare sopra un'assicella posata su quattro bicchieri che si faranno scaldare per iscacciare qualsiasi traccia di umidità.

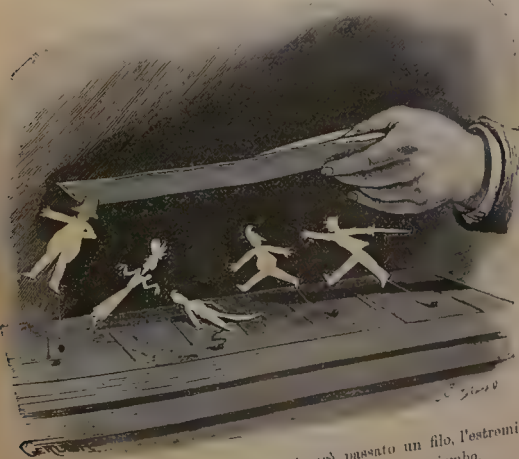
Milano. — Tip. dello Stab. di E. Sonzogno. — Si pubblicano due dispense alla settimana. — Ogni dispensa Cent. 10.

OTTAVO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

Attrazione elettrica: la danza dei forzati.

Un foglio di carta, ben scaldato, poi strofinato sopra un tavolo colla mano ben secca, secondo le indicazioni precedentemente suggerite, acquista la « virtù attrattiva. »

Quella virtù si rende palese in questo modo:

Si saranno tagliate da un foglio di carta figurine rappresentanti per

sonaggi diversi, ed al piede di quelle si sarà passato un filo, l'estremità del quale è assicurata nella fenditura di un pallino di piombo.

Se si fa passare, scorrere e girare il foglio di carta elettrizzato sopra le figurine sciorinate su di un tavolo, *le si vedono repentinamente rizzarsi in piedi e tentar di raggiungere il foglio di carta.*

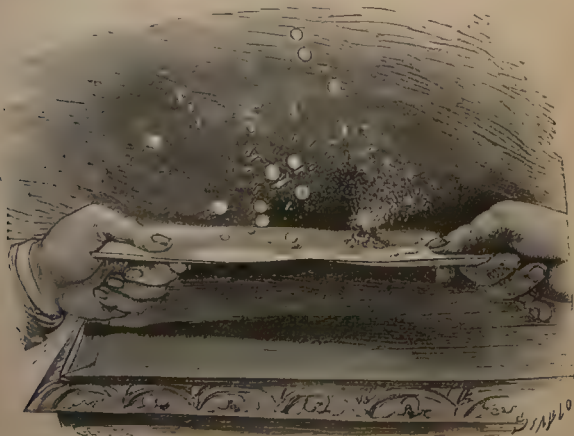
La catena e la palla trattengono quei piccoli forzati di carta i cui atteggiamenti e movimenti sono strani e comici.

Nel capitolo II, libro II della FISICA MODERNA, si trova la spiegazione del fenomeno.

NONO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

Movimenti elettrici: i projettili elettrici.

L'esperimento che indichiamo sotto il nome di *Projettili elettrici*, si effettua col foglio di carta scaldato e strofinato come fu detto precedentemente.

Su quel foglio elettrizzato, mentre è ancora aderente al tavolo sul

quale fu strofinato, si gettano pezzetti di carta, cenere, pallottole di midollo di sambuco, pezzettini di sughero.

Quando si stacca il foglio, allorchè lo si leva dal tavolo, *si vedono tutti quei piccoli corpi projettati istantaneamente in aria.*

Se taluni corpuscoli rimangono sul foglio, basta avvicinare il dito alla faccia inferiore del foglio e di fronte a quei corpi, perchè vengano ancor essi projettati come gli altri.

La spiegazione di questo fenomeno si trova nel capitolo II del libro II della Fisica moderna.

DECIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

Conducibilità elettrica: L'uccello elettrizzato.

Mettete un uccello sopra un tubo o bacchetta di vetro (il vetro deve essere perfettamente secco).

Assestate sopra un tavolo e sotto l'uccello, oggetti leggieri, piccoli pezzettini di carta, pallottoline di midollo di sambuco.

Elettrizzate un bastone di ceralacca strofinandolo con un pezzo di panno o di flanella;

Toccate con quel bastone di cera elettrizzata il becco dell'uccello e vedrete:

Gli oggetti leggieri, pezzettini di carta, pallottoline di sambuco, sollevarsi ed avvicinarsi alla coda ed a diverse parti del corpo dell'uccello.

Anche di questo fenomeno si trova la spiegazione nel libro II, capitolo II della FISICA MODERNA.

UNDICESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

RIPULSIONE ELETTRICA.

Il fascio di carta elettrizzato.

Tagliate un foglio di carta ben resistente in un certo numero di striscie;

Presentate quelle striscie al calore di un focolare, poi, tenendole con

una mano riunite ad una estremità, strofinatele coll'altra mano ben asciutta sul tavolo, facendo scorrere la mano un certo numero di volte dall'estremità che tenete stretta all'estremità libera.

Sollevate poscia dal tavolo quelle liste che terrete sempre riunite per un capo (posizione della figura).

E vedrete *quelle liste elettrizzate respingersi l'una coll'altra e spostarsi in guisa da formare un manipolo.*

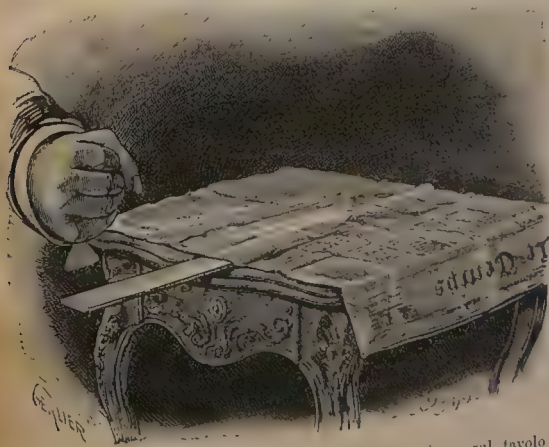
Nel libro II, capitolo II della FISICA MODERNA, si troverà la spiegazione del fenomeno.

DODICESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

PRESSIONE ATMOSFERICA.

Il colpo di pugno.

Disponete sopra un tavolo un'assicella lunga circa 50 centimetri sopra 12 a 15 di larghezza.

Assestatela in guisa che oltrepassi il lembo del tavolo di un po' meno della metà della sua lunghezza, vale a dire di 20 o 22 centimetri.

Coprite con un giornale la parte dell'assicella che riposa sul tavolo (posizione della figura).

Premete con diligenza il giornale sul tavolo e specialmente intorno all'assicella, in guisa che l'aderenza sia la massima possibile.

Se porrete il dito sull'estremità libera dell'assicella, essa oscillerà senza difficoltà.

Per lo contrario, *battendo quell'estremità con un pugno forte e improvviso, non riuscirete a sollevare l'assicella, che anzi qualche volta si spezza.*

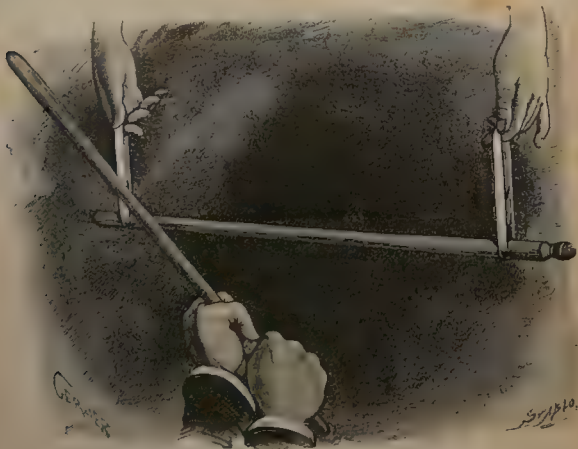
Questo esperimento dimostra l'esistenza della pressione atmosferica.

TREDICESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

INERZIA.

Esperimento di Rabelais.

« Panurgo prese due bicchieri, li riempì d'acqua, poi prese il legno di una lancia e lo mise sopra i due bicchieri in guisa che i due estremi del legno toccassero il lembo dei bicchieri. Ciò fatto, prese un grosso bastone e disse a Pantagruel e ad altri:

« Signori, come io romperò quel legno sopra i bicchieri, senza che quelli rimangano per nulla rotti o spezzati, ed anche senza che una

sola goccia d'acqua ne esca fuori, così noi romperemo la testa ai nostri Dipsodi senza che alcuno di noi sia ferito e senza perdita di sorta. A voi, disse ad Eustene, colpite con questo bastone forte più che potrete e in mezzo. Eustene obbedì ed il legno fu spaccato in due pezzi senza che una goccia cadesse dai bicchieri. »

Questo antichissimo esperimento, che abbiamo citato colle parole di Rabelais (*Pantagruel*, lib. II, cap. XXVII), può essere ripetuto, come facemmo noi, sostituendo ai due bicchieri due fascie di carta (posizione della figura); il bastone che colpisce il manico di granata, deve essere solidissimo, ed il colpo deve essere molto forte e molto pronto, affinchè le molecole colpite si spezzino, si separino prima che le vibrazioni abbiano il tempo di trasmettersi alle *fascie di carta, che rimangono intatte.*

QUATTORDICESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

OTTICA.

Fenomeni di rifrazione: lenti divergenti.

Questo esperimento, divenuto popolare sotto il nome di *Maniera di fare 7 franchi e 50 con una moneta da 2 franchi*, si spiega coi fenomeni della rifrazione e colle proprietà delle lenti divergenti.

Si mette una moneta da 2 franchi nel mezzo di un piatto concavo pieno d'acqua, e si copre la moneta con un bicchiere il cui fondo piuttosto grosso presenti una forma leggiermente biconcava. Si introduce nel bicchiere, sia un tubo di vetro curvato, sia una paglia piegata, sia un tubo di gomma e si aspira l'aria contenuta nel bicchiere. Così si ottiene il vuoto che permette all'acqua di alzarsi nel bicchiere.

Allora l'operatore collocato in *A* (posizione della figura) vede la moneta nelle sue dimensioni reali. Quel diametro apparente dipende dalla posizione dell'occhio rispetto alla superficie laterale del bicchiere e per

una data posizione dell'occhio che si trova cercando un poco e che mostra la moneta nella sua vera grandezza.

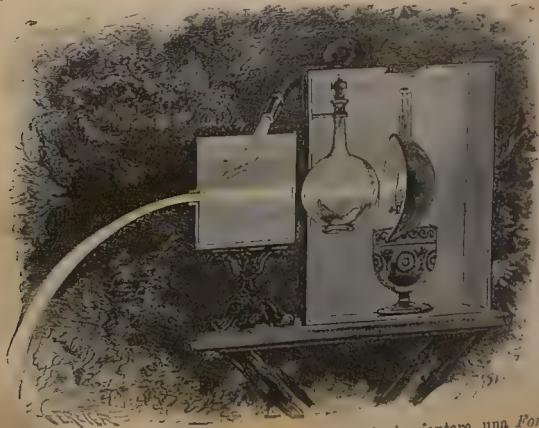
Nella posizione *B*, la moneta sembra più piccola, secondo la legge delle lenti divergenti o biconcave (il fondo del bicchiere è una di quelle lenti) di più, per effetto di rifrazione, vi ha sollevamento apparente della moneta nell'acqua, all'uscita dei raggi dall'acqua nell'aria; la moneta sembra allora avere le dimensioni di un pezzo da 50 centesimi.

Finalmente, nella posizione *C*, il diametro della moneta è dilatato causa la rifrazione dei raggi che uscendo dalla moneta passano dall'acqua nell'aria per la superficie laterale del vetro; e la moneta sembra allora grande come un pezzo da 5 franchi. (Veggasi la FISICA MODERNA, lib. I, cap. VI.)

QUINDICESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

OTTICA.

La fontana luminosa.

Nel 1854 il fisico Daniele Colladon, faceva sapere all'Accademia delle scienze, che collocando in una camera nera un vaso munito di un robinetto ed una lente convergente opportunamente assestata, si potevano dirigere nel getto d'acqua raggi luminosi, e che quelli, una volta entrati nella vena liquida non ne uscivano più. Il principio delle *fontane luminose* riposa su questa scoperta.

Ripetendo l'esperimento di Colladon è agevole impiantare una *Fontana luminosa:* una lampada munita di un riflettore projetta i suoi raggi sopra una caraffa di forma sferica, che fa l'ufficio di una lente convergente. Dinanzi alla caraffa si assesta un vaso quadrato, per esempio una cassa di legno impermeabile, ove un tubo versa regolarmente acqua limpida. La parete del vaso situata contro la caraffa è costituita da un vetro trasparente per lasciare passare i raggi. Alla parete opposta si adatta un piccolo tubo per l'orificio del quale l'acqua sgorga. Il fascio di luce, concentrato allora sull'orifizio di sgorgo a traverso la massa d'acqua, incontra la parabola liquida sotto un'incidenza tale che non può uscirne; in fatto esso viene continuamente riflesso nell'interno della vena liquida; è il *fenomeno della riflessione totale della luce*. La vena liquida assume l'apparenza di un getto di fuoco, soprattutto quando la si spezza. Si può variare la tinta del getto luminoso introducendo fra la caraffa e la parete del vaso lastre di vetro di colori diversi.

(Veggasi la FISICA MODERNA, lib. I, cap. VI.)

SEDICESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

ELETTRICITÀ ATMOSFERICA.

Colpo, contraccolpo e parafulmine.

Il foglio di carta elettrizzato che ci servì tante volte nei nostri esperimenti, rappresenta in questo caso una nube temporalesca carica di elettricità.

Messo sopra un fantoccio di carta situato su di un tavolo ove un'ostia

lo trattiene per una gamba, esso elettrizza per influenza il fantoccio, che si rizza alzando le braccia.

Toccando col dito il foglio di carta, lo si scarica, vale a dire si fa scoppiare il fulmine, e l'influenza cessa. Il fantoccio ripassa repentinamente dallo stato elettrico allo stato neutro, da ciò una scossa la quale non è altro che il *contraccolpo*. Il fantoccio è fulminato.

Ripetiamo l'esperimento dopo aver piantato sul tavolo un ago da calze.

Allora la nube temporalesca (il foglio di carta elettrizzato) non influenza più il fantoccio, che rimane disteso senza muoversi sul tavolo.

L'elettricità, attratta dal suolo o dal tavolo, sotto l'influenza della nube, è sgorgata dalla punta dell'ago da calze ed ha neutralizzato la elettricità di senso contrario della nube. L'ago da calze è un *Parafulmine*.

DICIASETTESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

ATTRAZIONE E RIPULSIONE ELETTRICA.

Il ragno di Franklin.

La celebre esperienza del *Ragno di Franklin* è agevole da ripetere. Il ragno è fatto con un pezzetto di sughero annerito al quale si fissano otto fili di cotone che servono ad imitare le zampe; esso è sospeso a un filo di seta.

Si elettrizza positivamente un tubo di vetro strofinandolo con un pezzo di lana o di seta; se lo si avvicina al ragno, questo, trovandosi nel campo elettrico, si elettrizza per influenza; da principio vi ha attrazione, e il ragno si precipita sul vetro, poi, siccome per effetto del contatto prende un'elettrizzazione del medesimo segno che il vetro, vi ha ripulsione.

Se il ragno, respinto dal tubo, incontra un conduttore in comunicazione col suolo, per esempio una mano (posizione della figura) esso si scarica della sua elettrizzazione; l'influenza del vetro elettrizzato si esercita di nuovo, vi ha attrazione, poi ripulsione, ed il ragno assume un movimento di va e vieni fra il tubo e la mano, sino a che il vetro abbia perduto la sua elettrizzazione.

(Veggasi la FISICA MODERNA, libro II, cap. .II)

DICIOTTESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

TRASMISSIONE DELLE PRESSIONI NEI GAS.

Un peso sollevato dal soffio.

Sopra un pallone di gomma elastica o sopra una vescica cui abbiamo attaccato un tubo di piccolo diametro, disponiamo un'assicella di superficie opportuna, e nel mezzo dell'assicella poniamo, per esempio, un peso di 10 chilogrammi.

Si tratta di sollevare quel peso senza il menomo sforzo.

A tal uopo soffiamo leggiermente nel tubo; e noi vedremo subito sollevarsi il peso di 10 chilogrammi. Se l'assicella copre sul pallone una superficie 500 volte più grande della sezione del tubo, basta esercitare in questo una pressione di 20 grammi perchè l'assicella sia sollevata da una forza di 500 volte 20 grammi, ossia di 10 chilogrammi.

Questo esperimento dimostra che se si esercita una pressione in un punto di una massa d'aria o di gas, quella pressione si trasmette in tutti i sensi; essa è in ogni punto normale alla superficie premuta, indipendente dalla direzione e proporzionale alla superficie.

DICIANNOVESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

OTTICA.

Lo spillo rovesciato.

Se in un pezzo di cartone o di carta con uno spillo o con un chiodino si pratica un foro ben netto, poi dinanzi al globo di una lampada si guarda da vicino la capocchia dello spillo che si mette dirim-

petto al foro del cartone (posizione della figura) si vede lo spillo colla testa in giù.

Di più, facendo passare lo spillo davanti al foro, nella direzione da destra a sinistra, lo si vede passare da sinistra a destra, e viceversa.

Questo fenomeno è dei più singolari ed interessanti.

Il primo fenomeno della visione (perchè vediam noi dritti gli oggetti che si dipingono capovolti sulla retina?) non ebbe ancora una spiegazione sufficiente: quindi come si potranno spiegare gli altri?

Questo esperimento sarebbe mai destinato a metterci sulla via di

una teoria della visione, migliore di quelle che abbiamo esposto al cap. VI del libro I?

Saremmo noi in questo caso in presenza della verità, poichè vediamo lo spillo capovolto, vale a dire, precisamente nella posizione che si dipinge sulla nostra retina? In questo caso, l'educazione dell'occhio cadrebbe in difetto, poichè non ci permette di raddrizzare l'oggetto; per altro si può anche supporre che, sempre in questo caso, il cervello si trovi nell' impossibilità di rettificare il senso dei raggi luminosi che vanno a toccare la retina. Ma bisognerebbe spiegare anche il movimento in senso inverso dello spillo. Saremmo noi dunque in inganno in tutte le direzioni? Che credendo di andare a sud andassimo a nord?

VENTESIMO ESPERIMENTO DI FISICA SENZA APPARECCHI.

MAGNETISMO.

La via dei poli, ovvero l'ingranaggio magnetico invisibile.

Studiando le proprietà delle calamite, il caso ci ha condotto ad un esperimento affatto nuovo, i cui risultati, a primo aspetto, sono sorprendenti.

Ecco l'esperimento, che abbiamo chiamato *La via dei poli, ovvero l'ingranaggio magnetico invisibile.*

Facciamo girare intorno ad una calamita una trottola rudimentale che ha il perno di *ferro;* se essa gira vicino alla parte curva della calamita, vale a dire nei dintorni della linea neutra ove non si manifesta attrazione di sorta, nulla si osserva di interessante; ma se la trottola girando nel senso della freccia (veggasi la figura di destra) si avvicina alla metà del ramo *S*, viene di subito trascinata in un movimento che la fa discendere sino al polo *S*. Là giunta, gira il polo e

risale lungo il lembo interno del ramo sino ad un punto che corrisponde esattamente al punto di partenza. Ivi la trottola si arresta e non può salire più in su; ma un lieve spostamento impresso alla calamita, basta a staccarla dal ramo S e portarla verso il ramo *N*; immediatamente vien trascinata verso il polo di quel ramo cui gira intorno per risalire lungo il lembo esterno del ramo stesso sino all'altezza del punto di partenza. Le linee punteggiate in bianco sulla figura mostrano la via percorsa dalla trottola, il suo punto di partenza iniziale (figura di destra), ed il suo ultimo punto d'arrivo (figura di sinistra).

Per far ripassare la trottola per la medesima strada, ma in senso inverso, vale a dire prendendo per punto di partenza il suo ultimo punto di arrivo, fa mestieri imprimere alla trottola un movimento di rotazione di senso inverso al precedente, il che mostra che il fenomeno è dovuto a ciò che abbiam chiamato ingranaggio magnetico invisibile.

FINE.

INDICE DELLE MATERIE

LIBRO PRIMO.

Energia sonora.

CAPITOLO PRIMO.

Il fonografo.

CAPITOLO II.

Il telefono.

CAPITOLO III.

Telefoni a calamita.

CAPITOLO IV.

Telefoni a pila.

CAPITOLO V.

La telefonografia. — Il telefono a luce. — Il termofono.

CAPITOLO VI.

Il telefoto. — La visione a distanza e la visione degli infinitamente piccoli. — Telescopio. — Telefoto. — Microscopio.

LIBRO SECONDO:

L'Energia elettrica.

CAPITOLO PRIMO.

L'energia.

CAPITOLO II.

Energia elettrica.

LIBRO TERZO.

L' Energia luminosa.

CAPITOLO PRIMO.

Energia luminosa.

CAPITOLO II.

Sulla misura delle grandezze fisiche in generale. — Grandezze elettriche.

LIBRO QUARTO.

L'Energia calorifica.

CAPITOLO PRIMO.

L'energia calorifica.